ENDEAVOUR

Revista trimestral designada a registrar el progreso
de las ciencias al servicio de las humanidad

VOLUMEN II OCTUBRE 1943 NUMERO 8

El sonido

Ahora que la física atómica atrae la atención tanto técnica como profana, es oportuno recordar que en ninguna otra rama científica ha habido mayor desarrollo técnico, últimamente, como en el campo de la acústica. Hace más de treinta años que, gracias a la influencia de hombres de ciencia ingleses, tales como Tyndall y Rayleigh, el estudio del sonido se hizo popular; pero posteriormente fué dejándose de lado aún en los estudios universitarios, y a pesar del gramófono y del teléfono, tampoco se cultivó su estudio en los laboratorios comerciales. Actualmente, y debido principalmente a la importancia del cinematógrafo y de la radio, el estudio de las vibraciones mecánicas producidas por y engendradoras de efectos eléctricos y ópticos, así como la investigación de las vibraciones transmitidas por el aire y sus efectos sobre el oído humano, han creado un cuerpo de doctrina bajo la denominación de «Acústica» que incorpora una buena parte de la física moderna.

Un elemento característico de cualquier instrumento receptor o reproductor de sonido es un diafragma cuyas vibraciones se rigen o están « forzadas » — usando el término tecnológico — por rápidos impulsos de intensidad variable, los cuales es imprescindible que sean fielmente interpretados por el diafragma. Las vibraciones forzadas de cualquier sistema material compuesto de varios diafragmas, son investigadas usando términos tomados a préstamo de los empleados en el estudio de circuítos eléctricos, con los cuales existe una marcada analogía. Así, conceptos tales como el de impedancia, tan corriente en los cálculos eléctricos, son igualmente usados en el caso de vibraciones mecánicas. En lugar de métodos empíricos de tanteo, hoy poseemos la precisión del cálculo que permite predecir el comportamiento de un determinado conjunto mecánico, y lograr así un nivel de perfección tal como se halla patente en el alto grado de fidelidad de reproducción lograda en los mejores instrumentos modernos. La técnica de los actuales circuítos de válvulas, es por una parte aplicada dírectamente a esta cuestión, y también lo es indirectamente por vía de sus analogías matemáticas. Con dos « altavoces», uno para altas frecuencias y otro para las bajas, y con los apropiados circuítos eléctricos para lograr que cada uno obedezca a la banda de frecuencias para qué ha sido destinado, se obtienen resultados simplemente asombrosos. Esto es, sin embargo, sólo uno de los aspectos de los nuevos métodos que se comprenden bajo el nombre de «electro-acústica», nombre que no sólo indica la combinación existente entre aparatos eléctricos y mecánicos sinó que, igualmente, se refiere al hecho que las masas, las fuerzas antagonistas representadas por muelles, las resistencias mecánicas, hallan su forma de expresión matemática por sus términos análogos eléctricos.

Una extensión de estos conocimientos está representada por los métodos de reproducción y registro de sonido desconocidos hace treinta años. El uso de un haz luminoso de intensidad rápidamente variable que mediante una célula fotoeléctrica está destinado a producir variaciones primero eléctricas y, más tarde, variaciones de sonido, pertenece esencialmente al período del cine sonoro. La banda de sonido de las películas es producida mediante el agente del sonido que induce variaciones en un haz luminoso, el cual a su vez actúa sobre la gelatina sensibilizada de la película; los medios por los que se logra esta correlación son variados, complejos e interesantes. Hay además un método de registro de sonido en banda de luminosidad variable que no requiere revelador fotográfico. Consiste en un dispositivo mecánico que rasca una delgada cubierta opaca de la película transparente. El principio es pués sencillo y los resultados son excelentes; pero el desarrollo del proceso ha requerido un alto

grado de peritaje y acabado en esta nueva técnica. El surco de magnetismo remanente sobre una cinta de acero, recubierta de limadura magnética, cuya intensidad varía de acuerdo con las vibraciones sonoras, es otro método corriente de reproducción y registro.

Otro campo de estudio, objeto hoy de investigación minuciosa en vez del simple tanteo, es el de los principios de arquitectura acústica. Hoy día ningún arquitecto no se atreviría a proyectar — o al menos no debería hacerlo — una sala de música o de conferencias sin aconsejarse con especializado conocimiento científico. La protección contra los ruídos y la manera de evitarlos es otra esfera similar en la cual se han hecho notables progresos.

El estudio de las vibraciones con frecuencias más allá de las audibles, o sea las llamadas supersónicas, o ultrasónicas como algunos prefieren, es de desarrollo reciente. El descubrimiento de Curie de los fenómenos piezoeléctricos sugirió la idea de aplicar cargas eléctricas variables a las caras opuestas de una lámina de cuarzo con el fin de inducir variaciones en las fuerzas elásticas internas. Por medio de la aplicación de cargas eléctricas variables resulta posible mantener oscilaciones cuya frecuencia, del orden de varios centenares de miles por segundo, depende del período propio correspondiente a la corta longitud de la barra constituída por la lámina de cuarzo. La producción de vibraciones sostenidas de alta frecuencia ha tenido gran importancia en la ciencia pura; por ejemplo, en el estudio de la anormal absorción y velocidades de propagación del sonido en el seno de ciertos gases, y que pueden referirse a ciertos tipos de vibraciones moleculares; y el estudio de sus efectos sobre micro-organismos, así como otras muchas aplicaciones.

Las vibraciones piezoeléctricas de un anillo de cuarzo han sido usadas para controlar un reloj cuya variación es menor de 0,002 segundo en 24 horas. La detección de grietas en cuerpos sólidos y la determinación del punto de fraguado de los cementos, constituyen otras de sus aplicaciones.

No es menos notable el progreso realizado en la invención de instrumentos musicales eléctricos, en los cuales el ejecutante acciona directamente, por uno u otro medio, circuítos eléctricos productores de oscilaciones eléctricas, las cuales son finalmente convertidas, por medio de un altavoz, en vibraciones audibles. El productor de tono puede consistir, por ejemplo, en una rueda dentada que gira frente a un pick-up, y así engendra un tono puro al cual pueden superponerse otros tonos puros o harmónicos, a gusto del ejectuante. Con un instrumento basado en este principio el ejecutante puede producir no solamente los efectos sonoros de las clavijas de los grandes órganos, sinó que puede producir otros nuevos fruto de su imaginación. Puede, así, producir cualquier tono, de cualquier intensidad, y sostener una nota por tanto tiempo como quiera, y de esta manera crear cualquier imaginable calidad de sonido. No obstante, aún son desconocidos grandes ejecutantes de tales instrumentos; así es interesante aguardar las grandes posibilidades artísticas que ellos deparan.

Correspondencia

Los trabajos y la correspondencia deberán ser enviados al director: E. J. Holmyard, c/o Imperial Chemical Industries Limited, Nobel House, Buckingham Gate, Londres, S.W.1. Se invita a los investigadores ocupados en trabajos de carácter interesante o importante a enviar notas breves sobre los trabajos en curso y los resultados obtenidos.

EL PUESTO DE LOS HOMBRES DE CIENCIA EN LA COMUNIDAD

De Sir Robert Pickard (Presidente, *Joint Council of Professional Scientists*); Alex. Findlay (Presidente, *The Royal Institute of Chemistry*), y Sir Lawrence Bragg (Presidente, *The Institute of Physics*).

Si bien en los Dominios Británicos, en proporción no menor que en la Gran Bretaña propiamente dicha, se han realizado grandes progresos en trabajos de investigación científica y en tecnología desde la terminación de la Guerra de 1914–18, todavía existen ciertas dudas respecto a si el público ha sabido apreciar en la forma debida los méritos de la ciencia y sus posibilidades, lo cual constituye la única salvaguardia del porvenir industrial británico. A pesar del hecho de que el importante papel desempeñado por los trabajos de investigación científica

(*Continúa en la pág.* 141)

El microscopio electrónico

SIR GEORGE THOMSON

Hasta ahora, los átomos han sido un concepto abstracto deducido de resultados experimentales. Dentro de unos pocos años quizás podremos decir de ellos que « el ver es creer » porque el microscopio electrónico, descrito aquí por Sir George Thomson, probablemente los hará visibles. El microscopio electrónico ha hecho posible avances notables en la ciencia pura y puede prestar grandes servicios a la medicina.

Durante los últimos años, se ha visto un avance considerable en el arte secular de la observación de los objetos diminutos. Esto se ha conseguido de un modo extraño. El microscopio visual, tanto la lente ordinaria como el instrumento más poderoso usado en la metalurgía o en la bacteriología, se funda en el principio siguiente: la luz del objeto se refracta por medio de lentes de cristal, u otra substancia transparente, de modo que cuando entra en el ojo se extiende sobre una área de la retina mucho mayor de la que ocuparía si el objeto se observara por visión ordinaria a una distancia compatible con la visión clara. La luz procedente de cada punto del objeto se enfoca en uno de los elementos sensitivos de la retina. Los elementos así iluminados forman una *imagen* que produce la sensación visual y la medida aparente del objeto varía en proporción con la medida de la imagen. Igual sucede en un microscopio fotográfico, excepto que en éste, la imagen final se obtiene en una placa fotográfica que actúa como una retina artificial que fija la imagen, pudiendo ésta estudiarse detenidamente. El ojo es solamente sensible a la luz, pero existen otras formas de energía que pueden impresionar una placa fotográfica, y, en el caso de que formen una imagen, éstas pueden usarse en el microscopio fotográfico. En efecto, la luz ultravioleta, que solamente se diferencia de la luz visible por su menor longitud de onda, se ha usado desde hace mucho tiempo por una razón que expondremos más adelante. Pero las posibilidades no terminan aquí, ya que pueden utilizarse otras clases de irradiaciones si cumplen con las condiciones siguientes: (*a*) las irradiaciones tienen que formar «rayos» que deben difundirse muy poco, sino los efectos de los distintos puntos del objeto se mezclan y es imposible ver su forma; (*b*) se han de poder dirigir los rayos de modo que los que proceden de un punto del objeto lleguen juntos a un punto de la imagen, o en su vecindad. La primera condición excluye las ondas de la radio o las del sonido, y la segunda hace impracticable el uso de los rayos X. Los electrones cumplen con estas dos condiciones, y el propósito de este artículo es el demostrar cómo se usan, en vez de la luz, en microscopios de poder antes no conocido.

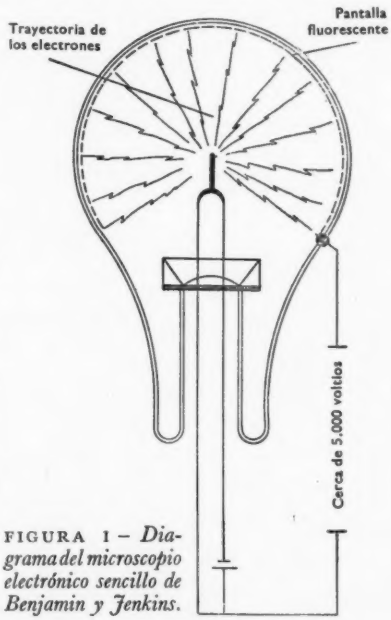


FIGURA 1 – *Diagrama del microscopio electrónico sencillo de Benjamin y Jenkins.*

ELECTRONES

Cuando una descarga eléctrica atraviesa un gas a baja presión, los rayos que dejan el cátodo, o polo negativo, pueden impresionar una placa fotográfica si chocan con ella, o iluminar una pantalla fluorescente de « willemita» pulverizada, por ejemplo, situada en su trayectoria. Estos rayos catódicos son *electrones* y pueden desviarse por medio de campos eléctricos o magnéticos. Un haz delgado de electrones puede obtenerse seleccionando algunos rayos por medio de un diafragma situado en la región de baja presión. En el oscilógrafo de rayos catódicos, se utiliza la desviación de un haz de estos rayos. En hecho, es una modificación

del aparato empleado por Sir J. J. Thomson en su demostración de la constitución de los rayos catódicos.

UN MICROSCOPIO ELECTRONICO SENCILLO

El modelo más sencillo de los microscopios electrónicos, aunque no el primero en ser descubierto, está ilustrado en la figura 1 que reproduce el diagrama del aparato usado por los investigadores ingleses Benjamin[1] y Jenkins. Aquí la punta de un alambre es la fuente de electrones que son acelerados por un campo eléctrico radial hasta que choquen con la superficie de una bombilla cubierta con una materia fluorescente. Si, por ejemplo, una mitad de la punta emite más electrones que otra, la parte correspondiente de la bombilla se iluminará con más intensidad. En realidad, se obtienen mejores resultados. Cada pequeña región de la punta produce su correspondiente foco de fluorescencia, de manera que la superficie de la bombilla reproduce el poder emisor de las distintas partes de la punta del alambre; pero como que la superficie de la bombilla es mucho mayor que la de la punta, se produce una gran magnificación. Si la punta fuera un hemisferio, la magnificación sería la proporción entre su radio y el de la bombilla.

El tamaño del radio de la punta era de unos 0,00025 mm. y la magnificación 200.000 aproximadamente. Es bien conocido que una punta afilada aumenta la fuerza de un campo eléctrico; por lo tanto, con puntas tan finas como éstas, un voltaje moderado — menos de 10.000 — es suficiente para arrancar electrones del alambre por fuerza bruta. La parte activa de la punta del alambre viene a ser como un monocristal del metal del alambre. Las figuras 6 y 8, cedidas por la amabilidad del Dr Jenkins, demuestran los resultados obtenidos con este instrumento. Las manchas negras demuestran que hay ciertas regiones que no emiten electrones, y el estudio de su distribución en relación con la estructura cristalina del alambre prueba que corresponden a ciertas facetas de los cristales. Es probable que la mayor parte de la emisión proceda de las aristas donde se juntan las facetas y donde las fuerzas eléctricas son particularmente intensas, pero existen también diferencias entre las facetas cristalográficamente distintas. También parece probable que cuando el alambre se calienta, las fuerzas mecánicas en la superficie, debidas al campo eléctrico, sean suficientes para estirar las aristas entre las facetas y formar agudos tabiques, aún a temperaturas bajo el punto de reblandecimiento del metal, y así aumentar la concentración del campo e intensificar la emisión de las aristas.

Es bien conocido que el poder emisor de metales, como el tungsteno, se aumenta considerablemente por medio de una capa de espesor atómico de un metal electropositivo, como el bario o el torio. Esta propiedad se usa en la manufactura de las lámparas emisoras de la radio. Benjamin y Jenkins pudieron estudiar estos cambios depositando pequeñas cantidades de bario o torio en la punta de sus alambres, y observaron los cambios en los perfiles de las fluorescencias obtenidas por este método. Las partes de la punta del alambre que están cubiertas por el bario o el torio emiten más electrones, y en su región correspondiente de la bombilla se observa un aumento de la luminosidad. Les fué posible el observar la emigración de los átomos extraños del punto donde se depositaron originalmente. Los nuevos átomos prefieren ciertas caras y aristas del cristal y evitan otras; ¡sin duda alguna, el poder estudiar por este método los movimientos y las preferencias de unos pocos miles de átomos es uno de los resultados más extraordinarios de las ciencias experimentales!

LENTES ELECTRICAS

A pesar de que con este aparato se pueden efectuar experimentos muy interesantes, sus usos como microscopio son limitados por su forma geométrica y por la necesidad de que la superficie del objeto mismo tenga que emitir electrones. La primera limitación está disminuída en el aparato (más viejo) de Brüche y Johannson. Pasando un haz de electrones a través de una serie de orificios de medida variable situados en dos o tres pantallas mantenidas a potenciales eléctricos escogidos cuidadosamente, de modo que las fuerzas eléctricas alrededor de los bordes de los orificios desvíen los electrones de su trayectoria, es posible formar un haz que, divirgiendo de su origen, se reúne nuevamente y se puede enfocar en una placa fotográfica o en una pantalla fluorescente. Por este método, se obtiene en la placa, o en la pantalla fluorescente, una imagen aumentada de un objeto plano paralelo a ella y se puede estudiar su emisión de electrones. Así se han obtenido muchos resultados interesantes. Por ejemplo, es bien conocido que los átomos de torio del filamento de una lámpara emisora difunden a través del tungsteno y reemplazan las pérdidas debidas a la evaporación de la superficie. Se creía antes

[1]El Dr. Benjamin murió en un accidente de aviación mientras en el servicio del Gobierno.

que los átomos encontraban su camino a lo largo de los intersticios que separan los pequeños cristales del alambre de tungsteno, pero parece ser que atraviesan el sólido, llegando a la superficie formando pequeñas áreas sin relación alguna con la posición de los límites del cristal.

La mayoría de los experimentos de esta clase se han llevado a cabo usando magnificaciones relativamente pequeñas, del orden de 100 diámetros. En la forma que hemos descrito este aparato, sus usos están limitados al estudio de superficies capaces de emitir electrones, por ejemplo metales.

LENTES MAGNETICAS

Es conocido desde hace tiempo que el campo magnético producido por la corriente eléctrica que pasa por un alambre arrollado en espiral alrededor de un cilindro, mantiene en un haz paralelo a los electrones que proceden a lo largo de su eje. Este campo magnético actúa como una especie de lente convergente sin magnificación. Más recientemente, Knoll y Ruska han encontrado que una bobina corta también puede ser efectiva; su acción es sin duda más parecida a la de una lente de cristal sobre la luz, y es capaz de darnos una imagen aumentada. Así pues, se han podido construir microscopios electrónicos, gobernados magnéticamente, que tienen ciertas ventajas prácticas sobre los del tipo eléctrico.

PODER DE RESOLUCION Y LIMITES DE MAGNIFICACIONES UTILIZABLES

Antes de enumerar los detalles de este instrumento, es conveniente considerar lo que determina los límites de la eficiencia de un microscopio de cualquier tipo. Supongamos, por ejemplo, que examinamos un objeto, tal como el de la figura 7, que tiene cierto número de rendijas o manchas de pequeñas dimensiones. Queremos ver las manchas individualmente, y no como un borrón. Es decir que la luz (o electrones) de cada mancha tiene que separarse de la de los otros y llegar a zonas distintas de la retina del ojo o de la placa fotográfica, sin confundirse con la luz de otra mancha. Esto se llama « resolución », y el poder de resolución de un microscopio es su propiedad más importante. En un microscopio compuesto, la «magnificación» se efectúa por etapas, y en cada una de ellas se observa la imagen formada en la anterior. La magnificación sin poder de resolución es tan fútil como el ampliar una fotografía desenfocada, con la esperanza de ver más detalles. Nuestros ojos pueden distinguir puntos separados por una distancia de 0,1 mm. y es suficiente el ampliar a esta medida el detalle más fino que deseamos ver, pero, para evitar el cansarnos la vista, es deseable el aumentarlo por un factor pequeño, 5 por ejemplo. Ahora bien, en teoría, la magnificación puede repetirse tantas veces como se desee y no existiría un límite en la medida del menor detalle que podría magnificarse hasta 0,1 mm., y así hacerlo visible. Pero aquí el poder de resolución entra en la escena. Si en una de las etapas, los rayos que provienen de dos puntos se mezclan, no podemos hacer nada para separarlos más tarde. La individualidad de los puntos se pierde, y no se pueden distinguir de una mancha mayor. Naturalmente, la resolución es más difícil cuando los puntos están más cercanos, y por lo tanto, la primera lente, la que los mira antes de magnificarse, es la que con más probabilidad limita el aumento del microscopio.

No es novedad que la luz es una forma de movimiento ondulatorio, y este hecho regula la menor distancia que separa dos puntos que pueden distinguirse. Si echamos una piedra en un estanque tranquilo, el lugar donde cae se transformará en el centro de ondas circulares. Un chinche de agua en la superficie podría decirnos la dirección de la piedra por la manera que las ondas le han movido. Si se echan simultáneamente dos piedras a una distancia considerable, el insecto experimentará un movimiento bastante irregular, pero lo que podría percibir sería debido a dos series de ondas, provenientes de dos direcciones distintas (figura 2). Ahora bien, si las dos piedras caen juntas, a una distancia menor que la entre la cresta y la depresión de una onda, los sistemas ondulatorios se fundirán y nuestro chinche de agua, por inteligente que sea, pensará que hemos echado solamente una piedra muy grande (figura 3). Esto es un ejemplo de una regla general de todos los movimientos ondulatorios, que dice que la menor distancia entre dos puntos que permite el verlos separados es la mitad de su longitud de onda. La longitud de onda de la luz visible es más o menos 0,00025 mm. Ahora bien, $400 \times 0{,}00025 = 0{,}1$ mm., la menor distancia visible. Por lo tanto, una magnificación de 400 será suficiente para hacer visible la menor distancia que puede ser resuelta. Se podrá aumentar, quizás, la magnificación hasta $\times$ 1.000 o $\times$ 2.000 para facilitar la observación de la imagen, pero este aumento extraordinario es desperdiciado, en el sentido de que en realidad no revela nada que no puede verse sin él. Sin embargo, podemos usar la luz ultravioleta y la inmersión en líquidos,

que disminuyen la longitud de onda en el objeto, y de este modo podemos disminuir el límite a 0,0001 mm. o 0,1 μ, usando la unidad corriente en microscopía, y aumentos de × 5.000 pueden ser útiles en circunstancias favorables.

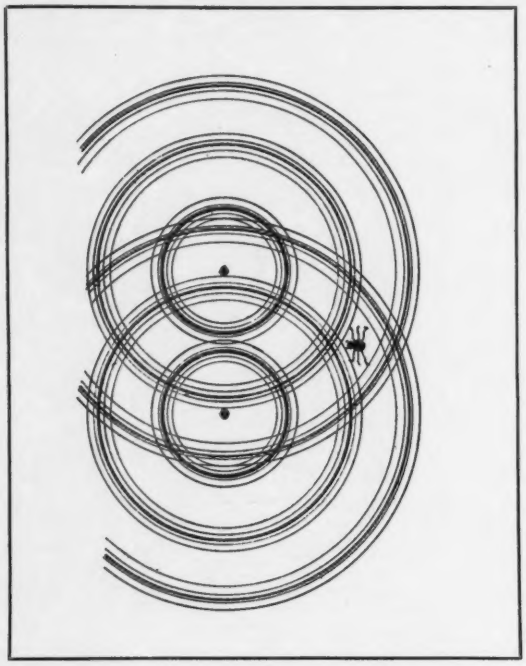


FIGURA 2

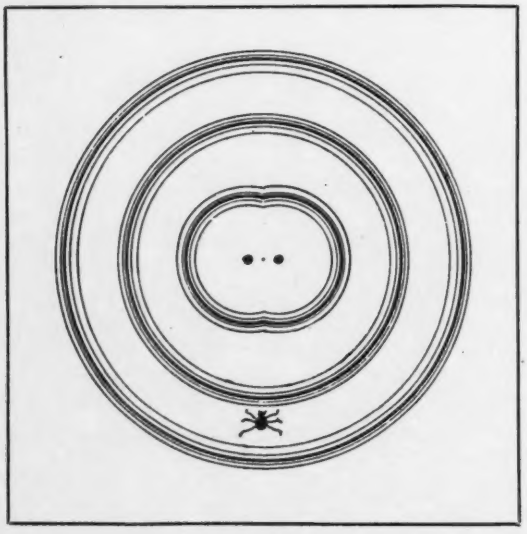


FIGURA 3

ONDAS ELECTRONICAS

¿Como pueden ayudarnos los electrones en este problema? Hace 15 años, la respuesta hubiera sido que si podíamos manejar los electrones de una manera conveniente, no existiría límite alguno, a lo menos hasta las medidas atómicas, porque se creía que los electrones eran partículas mucho menores que los átomos. Hoy día sabemos que todas las partículas, y los electrones sobre todo, tienen un carácter doble, ya que son partículas y ondulaciones al mismo tiempo. Sin entrar en las intrincadas ideas envueltas en este punto, es suficiente el decir que con respecto a la resolución, los electrones actúan como ondulaciones cuya longitud de onda depende de su velocidad; y los electrones más rápidos tienen la menor longitud de onda. Los electrones lentos, de una velocidad tal como la que tendrán al ser acelerados de un estado de inmovilidad por un potencial de un cuarto de voltio, tienen una longitud de onda de dos millonésimas de milímetro aproximadamente. Estos pueden ser los electrones al momento de su emisión de un filamento caliente. Los rayos catódicos, de una energía hasta de 15.000 voltios, tienen una longitud de onda muy pequeña, aproximadamente de una cien millonésima de milímetro. Estas longitudes de onda son mucho menores que las de la luz ultravioleta; en realidad, son del mismo orden como las de los rayos X y permiten un gran aumento del poder de resolución y magnificación utilizable.

En realidad, la posición no es tan favorable para el microscopio electrónico como parece indicar una cruda comparación de las longitudes de onda. Un poder de resolución completo no puede obtenerse más que en los casos en que la lente recoge la irradiación proveniente de un hemisferio completo. Esto solamente se puede obtener en teoría, aunque los mejores objetivos de microscopios se acercan a estas condiciones y recogen un cono de rayos muy ancho de cada punto del objeto. Con el microscopio electrónico, a lo menos con los existentes tipos de lentes, el fenómeno que en lentes ordinarias conocemos por aberración esferoidal, esto es, la imposibilidad de formar una imagen perfecta por razones geométricas, hace necesario el utilizar solamente un estrecho cono de rayos. Esto puede dar un factor de 100 o más contra el microscopio electrónico, pero así y todo, su poder de resolución teórico con electrones de 15.000 voltios es de una millonésima de milímetro aproximadamente, o cien veces mayor que la obtenida con el uso de la luz ultravioleta.

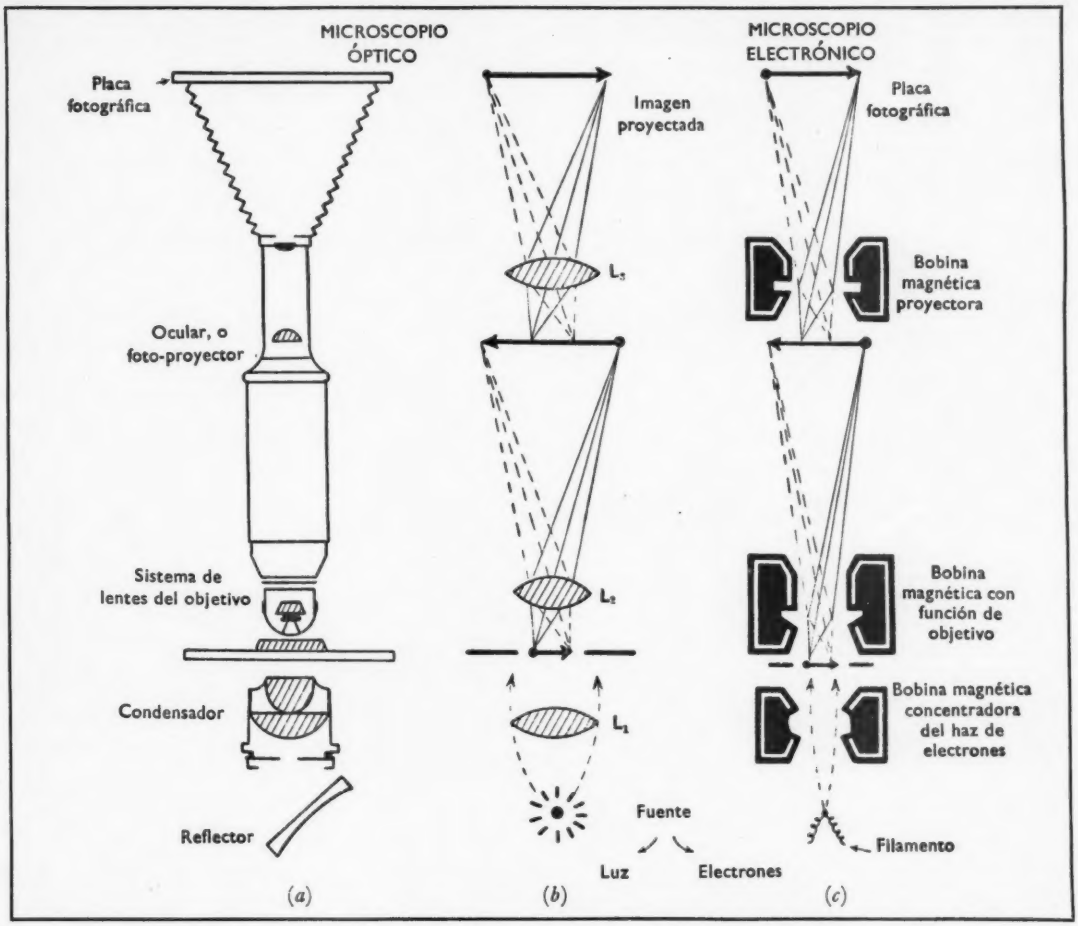


FIGURA 4 – *Comparación entre el microscopio óptico y el microscopio electrónico magnético.*

MICROSCOPIOS ELECTRONICOS MAGNETICOS

Estas ideas se han utilizado por Marton en Bélgica para la creación de instrumentos que poseen un poder de resolución muy grande y de magnificación utilizable. En Inglaterra, se trabaja con el mismo fin en el « Imperial College »[1] y en el « National Physical Laboratory »[2], con la ayuda de Metropolitan-Vickers. Otros grupos de investigadores del Canadá y de los Estados Unidos trabajan sobre el mismo tema. Uno de los modelos más recientes, que incorpora algunos de los perfeccionamientos del Profesor E. F. Burton y sus colaboradores de la Universidad de Toronto, ha sido construído por la R.C.A. Manufacturing Company de New Jersey, y está ilustrado en la figura 9.

El instrumento de Toronto es un ejemplo típico de las nuevas tendencias. Tiene 1,5 m. de altura y en él se produce un vacío muy alto por medio de dos bombas poderosas. Los electrones se generan en un cátodo caliente y son acelerados hasta 45,000 voltios. Los electrones pasan a través del objeto que tiene que ser muy delgado y, por lo general, está montado sobre una red de alambre fino, o en un disco con un pequeño orificio. Tiene tres lentes magnéticas que corresponden respectivamente al condensador, objetivo y ocular, de un microscopio ordinario. En la figura 4 se comparan cada una de las partes del microscopio electrónico con las correspondientes del microscopio ordinario y las trayectorias de los electrones con las de los haces de luz. En esta

[1]Profesor Martin y sus colaboradores.

[2]Dr Preston y sus colaboradores del departamento de metalurgía.

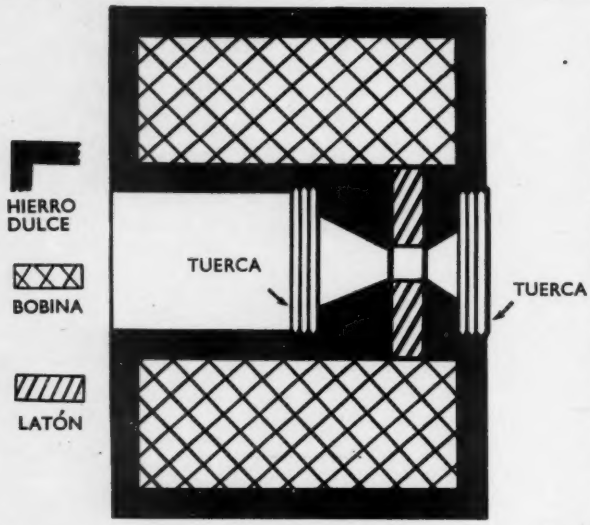


FIGURA 5 – *Lente magnético moderno, tal como se usa en el microscopio electrónico magnético.*

ilustración, se reproduce el microscopio electrónico con la fuente de electrones en la parte inferior, y la imagen final en la superior del dibujo para compararlo con el aparato óptico. En práctica, el instrumento es tan alto que es más cómodo tener la fuente, y su instalación de alto potencial, en la parte superior del aparato, de modo que la figura se ha de invertir para compararla con la fotografía de la figura 9.

En la primera etapa de la magnificación, la imagen formada por el objetivo puede observarse en una pantalla fluorescente para enfocarla. La imagen final también se puede examinar en una segunda pantalla, o esta última puede sacarse, y los electrones caen en una placa fotográfica, en la que producen una imagen latente que se revela por los métodos ordinarios.

El tipo de « lente » usado generalmente en la actualidad, se reproduce en la figura 5. Es una bobina cilíndrica corta, cuyo arrollamiento lleva una corriente, y que está completamente cubierta por una envoltura de hierro, salvo por la superficie inferior del carrete, en la que hay un delgado anillo de latón. Este anillo de latón interrumpe las líneas de fuerza magnéticas que tienden a correr por el hierro, y las lanza en el espacio. El espesor del hierro a cada lado del latón disminuye el orificio en este punto y aumenta la concentración de las fuerzas magnéticas cerca de esta parte del eje. Lentes como éstas tienen una distancia focal de 5 mm. aproximadamente.

Con estos aparatos se pueden obtener fácilmente magnificaciones de × 20.000, × 40.000, y × 60.000 y hasta es posible una de 150.000 diámetros. Según hemos visto, lo más importante es el poder de resolución. Las calculaciones más dignas de confianza demuestran que un poder de resolución de $\frac{1}{100000}$ mm. se obtiene con facilidad en la práctica y, bajo las mejores condiciones, se pueden obtener resultados otras dos o tres veces mayores, cifras que no son muy distintas de la anunciada por la teoría. Hasta las cifras menores son 10 veces más pequeñas que las de los mejores microscopios ultravioletas. Se obtienen imágenes muy claras y se recomienda el usar placas fotográficas de grano fino, y ampliar 10 veces los resultados visuales. Las ilustraciones 10–16 reproducen algunos de los resultados obtenidos con objetos muy distintos[1].

El instrumento de la R.C.A. tiene un dispositivo que permite cambiar el objeto sin disminuir el vacío en el aparato. Es muy importante que las distancias entre las lentes y el objeto se puedan regular con respecto entre ellas, pues la mayor exactitud en su construcción no puede preveer ligeras asimetrías que se aumentan enormemente. Para permitir este ajuste, el aparato está construído en seis secciones, colocadas una encima de la otra. Las superficies inferior y superior de cada sección están pulidas perfectamente planas y las uniones se cierran herméticamente con grasa. Las secciones pueden deslizarse lentamente una encima de la otra por medio de tornillos ajustadores, y se alinean exactamente, sin que el vacío del aparato se pierda. También es muy necesario de estar seguro de que el interior de la cámara esté perfectamente limpio y desprovisto de grasa, ya que ésta puede cargarse eléctricamente y desviar el haz de electrones.

Es esencial el mantener muy constante el voltaje acelerador de los electrones. No se permite variar en más de un voltio los 45.000 voltios usados en el aparato de Toronto. Para obtener esto, se necesita una elaborada instalación eléctrica en la que se utilizan aparatos electrónicos. La razón para esta extremada constancia es porque electrones

[1]Las figuras 13, 15 y 16 fueron obtenidas con el aparato de Toronto, publicadas en *The Electron Microscope* (Burton y Kohl) y se reproducen aquí con permiso de la Reinhold Publishing Corporation. Las figuras 10, 11, 12 y 14 se obtuvieron en el departamento de metalurgía del National Physical Laboratory y están reproducidas con permiso del Director. En cada una se indica el instrumento usado.

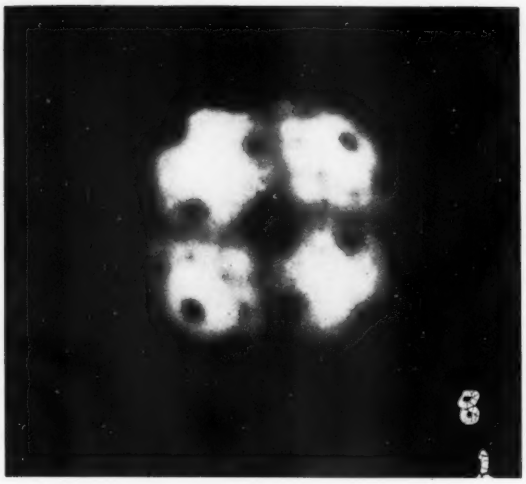


FIGURA 6 – *Emisión de una punta de molibdeno, alisada parcialmente por calentamiento por corto tiempo a una alta temperatura. Las manchas negras corresponden a las facetas de los cristales.* *(Según el Dr Jenkins.)*

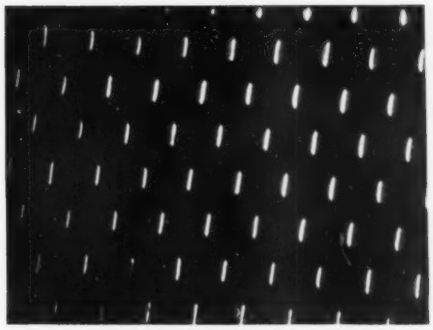


FIGURA 7 – Diatomea: Pleurosigma angulatum. *La cutícula de esta planta diminuta está perforada por una serie regular de pequeños agujeros. Esta estructura es algo demasiado fina para el poder de resolución de un microscopio óptico.* (× 14.000)
(Obtenida con el aparato del R.C.A. en el National Physical Laboratory.)

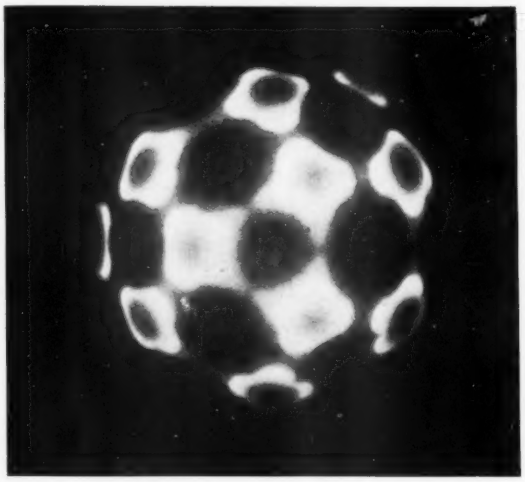


FIGURA 8 – *Emisión de una punta de niquel calentada a 920° C. Las áreas negras corresponden a las facetas de los cristales, las áreas emisoras a sus aristas.* *(Según el Dr Jenkins.)*

FIGURA 9 (*a la derecha*) – *Uno de los microscopios electrónicos magnéticos del R.C.A.*

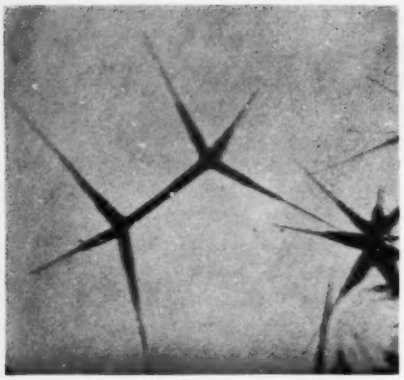


FIGURA 10 – Humo de óxido de zinc, *producido por la combustión de zinc metálico: consiste de cristales de óxido de zinc en forma de agujas.* (× *ca.* 7.000)
(*Obtenida con el instrumento de la Metro-Vic en el National Physical Laboratory.*)

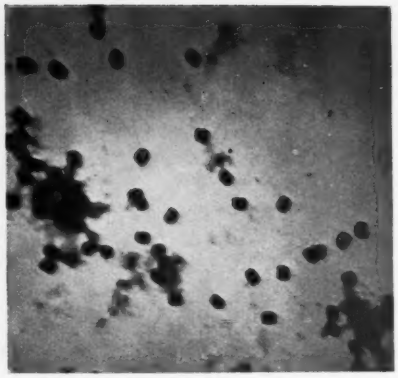


FIGURA 11 – Vacuna. *Los pequeños cuerpos oblongos son el agente activo que produce la inmunidad contra las viruelas.* (× 10.000)
(*Obtenida con el instrumento de la Metro-Vic en el National Physical Laboratory.*)

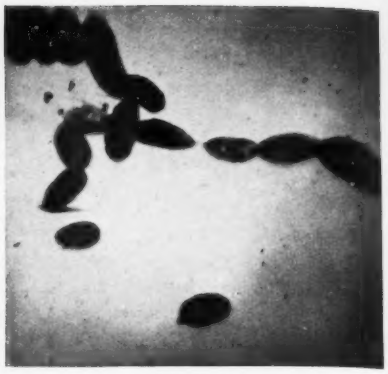


FIGURA 12 – Bacteria: B. fluorescens. *Parte de su estructura interior es visible.* (× 6.000)
(*Obtenida con el instrumento de la Metro-Vic en el National Physical Laboratory.*)

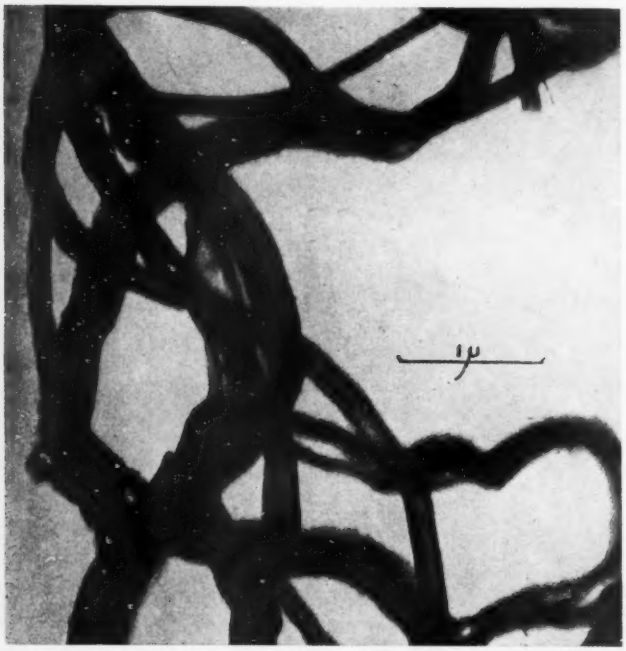


FIGURA 13 – Cupreno, *un polímero del acetileno, formado en presencia de cobre.* (*Obtenida con el microscopio electrónico de Toronto.*) (× 22.700)

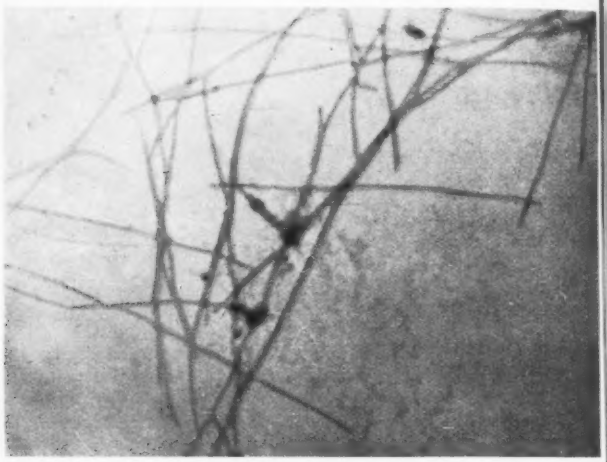


FIGURA 14 – El virus del mosaico del tomate, *responsable de la enfermedad de estas plantas, consiste de partículas filamentosas, tal como demuestra esta preparación obtenida en Rothamsted Experimental Station.* (× 30.000)
(*Obtenida con el instrumento del R.C.A. en el National Physical Laboratory.*)

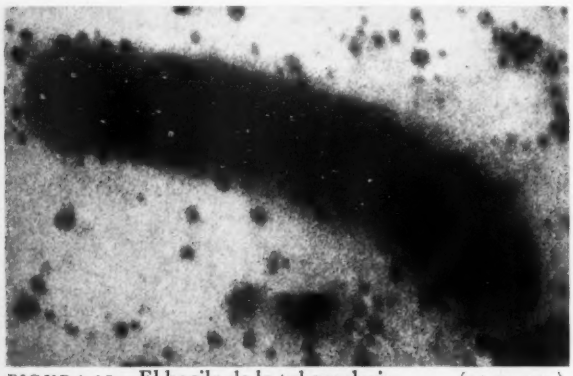


FIGURA 15 – El bacilo de la tuberculosis. (× 31.400)
(*Obtenida con el microscopio electrónico de Toronto.*)

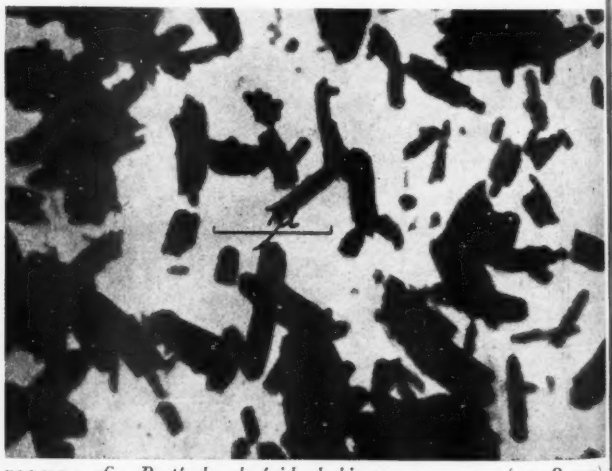


FIGURA 16 – *Partículas de óxido de hierro.* (× 18.400)
(*Obtenida con el microscopio electrónico de Toronto.*)

de diferentes velocidades se tuercen en grados distintos por las lentes magnéticas, tal como las luces de colores diferentes se refractan distintamente por una lente de cristal. Así pues, si existen electrones de diferentes velocidades, se obtendrán imágenes desenfocadas, y es imposible obtener una buena definición. También es importante el mantener muy constante las corrientes de las lentes magnéticas, ya que de ello depende su longitud focal.

LOS OBJETOS DEBEN SER DELGADOS

El lector habrá notado que en este tipo de microscopio los electrones pasan *a través* de los objetos. Como que los electrones, hasta los de una energía de 45.000 V, no tienen mucho poder de penetración, podrían atravesar con gran dificultad objetos tan delgados como un papel de seda. Pero las dificultades son aún mayores, pues los electrones no deben solamente atravesar los objetos, sino que deben hacerlo sin pérdida de velocidad, sino las lentes no podrían enfocarlos exactamente, por las razones que hemos expuesto. Por esto, el máximo espesor de la preparación que puede permitirse es unas 25 milésimas de milímetro, si se quiere obtener imágenes con luz y sombra. Naturalmente, se pueden usar objetos más gruesos si lo que se desea es una silueta de sus contornos, o una fotografía de sus perforaciones (figura 7), pero en estos casos las partes sólidas aparecerán completamente negras en el positivo. Las luces y las sombras de una fotografía tomada con el microscopio electrónico, o, en realidad, con el microscopio ordinario, dependen de las diferencias de los poderes de difusión y refracción de las distintas partes del objeto. En el caso del microscopio electrónico, una refracción muy pequeña es suficiente para desviar los electrones de la porción efectiva del haz, la cual es muy delgada, y es conveniente el usar diafragmas con un orificio central para detener a estos electrones indeseables y dejar pasar a los demás. Como que la mayoría de ellos han perdido velocidad al ser desviados, si se incluyesen, desenfocarían a la fotografía. Por esto, tanto las partes que difunden, como las que refractan mucho, aparecen obscuras. El microscopio electrónico tiene algunas ventajas sobre el óptico, pues pequeñas diferencias en la densidad afecta el poder de dispersión suficientemente para ser apreciadas, y generalmente no es necesario el colorar los objetos orgánicos.

La necesidad de usar objetos delgados es la desventaja más seria de los actuales microscopios electrónicos. En muchos casos, por ejemplo en el estudio de las partículas del humo y de las bacterias, ésta se puede superar con el uso de una fina película de colodión, o de una materia semejante, soportada por medio de un disco con un pequeño orificio o por una tela metálica muy fina. Estas películas son extraordinariamente fuertes, resisten al bombardeo de los electrones, y no confunden la imagen del objeto, ya que no demuestran una estructura propia. Los objetos a estudiar pueden suspenderse en una gota de agua colocada sobre el colodión, y al evaporarse se consigue una buena preparación.

Con algunos objetos orgánicos que son demasiado gruesos, hasta sin el colodión, este método no es satisfactorio. Usando electrones más rapidos, y por lo tanto con más poder de penetración, se pueden usar objetos de más espesor. Con el aparato construído por la R.C.A. en el que se usan electrones de 300.000 voltios, Zworykin, Hillier y Vance han obtenido fotografías satisfactorias de secciones de una o dos milésimas de milímetro del cuerpo de una cucaracha. Teóricamente, el aumento de energía también da un mayor poder de resolución, pero en la práctica no parece que haga diferencia alguna.

La metalurgía es una de las ciencias en las que el microscopio electrónico sería más útil, pero a pesar de que se pueden hacer películas metálicas suficientemente delgadas para aparatos de 45.000 voltios, es necesario el usar objetos más gruesos. Para resolver esta dificultad, se han desarrollado varios métodos, por medio de los cuales se consigue unos moldes delgados que reproducen la superficie de metal y que pueden examinarse por transmisión. En un método, se produce por evaporación sobre la superficie del metal a examinar, una película de plata, que se separa mecánicamente. Sobre esta película se derrama colodión y por acción de un ácido se disuelve la plata, dejando una membrana de colodión. Usando este proceso doble, Zworykin ha obtenido mejores resultados que por la aplicación directa del colodión sobre el metal original.

MICROSCOPIOS DE REFLEXION

No cabe duda de que técnicas como éstas deben tender a borrar los detalles más finos de la estructura a examinar. Se han hecho muchas tentativas para examinar objetos por medio de electrones reflejados, pero hasta la fecha no han tenido mucho éxito. Si el objeto se observa con su superficie normal a la dirección de la vista, tal

como en el microscopio ordinario, los electrones que deben proceder de los lados de la preparación, al reflejarse a un ángulo de 90° o más, se transforman en electrones de tal variedad de energías, que es imposible conseguir una imagen. Por otro lado, si el objeto se observa y se ilumina con un haz horizontal, los electrones de la parte en que se está interesado se confunden con los de las partes situadas delante o detrás de ella, y en adición, la vista está muy acortada.

Son muy interesantes las tentativas de Ardenne para ver objetos sólidos por medio del « scanning », método parecido al de la producción de imágenes en la televisión. Para obtener un « scanning » lo bastante fino, el microscopio electrónico se invierte, de modo que la imagen de una fuente de electrones grandemente « disminuída » se enfoca sobre el objeto. Los electrones dispersos de una pequeña área se recogen, y se registran, ya como puntos de luz de intensidad proporcional o por algún otro medio. Por medios eléctricos, se mueve a lo largo del objeto la imagen disminuída de los electrones, mientras que la mancha de luz se mueve sincrónicamente sobre una película fotográfica. Las diferencias en el ennegrecimiento de la línea de la película reproducirá las variaciones de la dispersión de los electrones por las regiones del objeto en que han caído. Cuando el haz de electrones ha cruzado el objeto, se desvía ligeramente a un lado y se lo hace cruzar de nuevo el objeto, y así se cubre toda la superficie, del mismo modo que una página está cubierta por la escritura. Durante todo este tiempo, la mancha de luz registra los electrones dispersos en lugares correspondientes de la película fotográfica, y así reproduce los poderes de dispersión del objeto con una ampliación conveniente. El poder de resolución depende de la habilidad del microscopio invertido para obtener un haz fino para el « scanning ». Aunque los éxitos logrados hasta ahora no son más que parciales, esta técnica está llena de posibilidades.

ESTUDIOS FOTOGRAFICOS

Como que la acción fotográfica de los electrones rápidos es el medio usado para registrar la imagen del microscopio electrónico, es muy natural que éste se haya usado para el estudio de la acción de los electrones sobre los distintos granos mismos. Se sabía ya que, por una larga exposición a la acción de los electrones, se libera plata metálica del bromuro de plata de la emulsión, hasta sin necesidad de revelado. El microscopio revela que esta plata no está distribuída uniformemente en el grano, sino que está concentrada en algunas zonas preferidas. Algo parecido sucede cuando cristales de bromuro de plata se exponen a una luz muy fuerte. En este caso, las pequeñas manchas de plata metálica probablemente revelan el centro de la imagen latente.

También puede demostrarse la acción de los reveladores, y se ha encontrado que la plata de los granos revelados tiene la forma de una masa de delicados filamentos que pueden extenderse más allá de los límites del grano original. Esto es contrario a la idea previa de que la plata revelada era una substancia de estructura parecida al coke. La apariencia de los filamentos depende del revelador que se use; así metol y amidol forman filamentos muy finos, mientras que los producidos por la hidroquinona son más gruesos. También se han estudiado unos cristales de Lippman de bromuro de plata, que son demasiado pequeños para ser vistos con el microscopio óptico. Cada uno de éstos crece durante el revelado, transformándose en un filamento mayor que el cristal original.

BACTERIAS

Es algo sorprendente, y afortunado, que las bacterias resistan tan bien las condiciones del microscopio electrónico. Se temería quizás que se formasen burbujas de gas en las bacterias expuestas al alto vacío, que desintegrarían la estructura, y si escapaban de esto, el bombardeo por electrones las destruiría antes de poder observarse. En efecto, no solamente se destacan muy bien, sino que dan fotografías excelentes, sin necesidad de ser coloradas. Burton dice que no está seguro si mueren por la exposición al vacío. Todavía no se han logrado muchos resultados en este campo de investigación pero no cabe duda que estamos al principio de descubrimientos de importancia. El virus que ataca las plantas de tabaco, por ejemplo, ha sido ya examinado en el microscopio electrónico a pesar de que es absolutamente invisible en el microscopio óptico. El mismo virus ha sido objeto de un brillante estudio por el Dr Bernal, por medio de rayos X. Es interesante notar que el tamaño revelado por el microscopio electrónico está de acuerdo con lo deducido indirectamente del trabajo anterior. El uso del microscopio electrónico en las investigaciones médicas es una de las aplicaciones más atrayentes, por la esperanza de proveer a estos trabajos con un instrumento de gran importancia.

LAS PARTICULAS DEL HUMO Y DEL POLVO

Un gran número de estudios se han hecho

sobre la estructura de los humos. Estos son una colección de partículas sólidas, la mayoría, unos 3/4 de ellas, son demasiado pequeñas para ser visibles en el microscopio ordinario. La figura 10 demuestra la forma curiosa de las partículas del humo de óxido de cinc, formado por la combustión de este metal en el aire. Por otro lado, las partículas del negro de humo son redondeadas, y se agregan, formando cadenas; las del humo de óxido de aluminio son esféricas y las del óxido de magnesio son casi cúbicas, mientras las del óxido de hierro tienen la forma de pequeñas prismas (figura 16).

Además de estos humos artificiales, el polvo natural es un importante campo de estudio, por su importancia en ciertas enfermedades, tales como la silicosis de los mineros.

LOS LIMITES EXTREMOS DE LA VISION

Naturalmente, se tiene la tentación de preguntar si hay esperanza alguna de ver moléculas aisladas o átomos, por medio del microscopio electrónico. En este punto, todo depende de lo que se entienda por una molécula aislada, ya que, hasta cierto punto, cada uno de los cristales de ciertas substancias, como el cuarzo, cuando no tienen grietas o defectos algunos, se puede considerar como una molécula. Si se excluyen éstas que son fácilmente visibles, las mayores moléculas son las de compuestos orgánicos de estructura química muy compleja, como las proteínas, o los polímeros que se usan hoy día extensamente en la fabricación de substancias plásticas. De las experiencias efectuadas con la ultracentrífuga, parece ser que las proteínas más complejas quizás tienen 20.000 átomos en su molécula. Si estas moléculas tuviesen la forma de un cubo, cada una de sus aristas tendría la longitud de 20 o 30 átomos, que sería cerca del límite de la visión de los aparatos actuales. Sin embargo, es mucho más probable que tengan una estructura más porosa, de modo que sus dimensiones máximas son lo suficiente grandes para ser visibles. La dificultad más probable estriba en distinguirlas de la materia que las rodea o en la que descansan, pero, en vista de los éxitos obtenidos con microbios, esta dificultad seguramente se solucionará.

En los polímeros tenemos moléculas básicas relativamente sencillas, que se enganchan recíprocamente como en los cristales, formando cadenas y agregados de tamaño indefinito, y sería difícil o tendría poca significación el decir dónde termina una molécula compuesta y dónde empieza la próxima. Sin embargo, el estudio de estas moléculas agregadas por el microscopio electrónico parece que dará buenos resultados. La figura 13, por ejemplo, ilustra la imágen como una enrededera, de una de estas substancias. Los hilos finos indican probablemente un agregado en forma de cadenas largas.

Por fin: los átomos mismos. El ver a un átomo necesita nada más que iluminación suficiente y contraste suficiente. Puesto que un átomo suelto quedaría en movimiento violento debido a la agitación térmica, sería necesario atarlo a algun objeto — que será compuesto, naturalmente, de átomos. Lo mejor es probablemente el tener un átomo pesado, como el del oro, en un soporte hecho de átomos ligeros, como los del colodión. Los problemas en este caso son ¿podemos iluminar al átomo con una intensidad suficiente para que desvíe una cantidad suficiente de irradiación (luz o electrones) para ser discernible? y en tal caso ¿será o no ofuscada por la desviación producida por el soporte? El gran poder de resolución nos ayuda porque los electrones desviados por el soporte fuera de los límites de no-resolución, serán enfocados en otras partes de la placa fotográfica, no causando confusión alguna. Al disminuir el área no resuelta, y por lo tanto indistinguible, hay más probabilidades de que los electrones desviados por el átomo serán una proporción suficiente del número total en esta región para que esta parte aparezca más obscura, que si no hubiera el átomo pesado. Suponiendo una película de celuloide, de un espesor de unos 100 átomos, que es posible, y si el poder de resolución fuese suficiente para aislar un cuadrado de lados de 5 átomos, en él habría 2.500 átomos de carbono (u oxígeno), cuya desviación se mezclaría con la del átomo de oro. Pero éste pesa unas 16 veces más que el átomo de carbono, y como la dispersión está en relación con el peso, el oro producirá aproximadamente 1 parte en 150 de extra dispersión. Esta es demasiada pequeña para observarse, a pesar de que hemos supuesto un poder de resolución mejor que el que se obtiene en la actualidad, pero este experimento se parece a las cosas que quizás serán posibles dentro de diez años.

El ver las partes que constituyen un átomo es una cuestión muy diferente. Aquí nos encontramos con la dificultad fundamental de que los electrones suficientemente rápidos para tener el poder de resolución necesario, chocarían con el átomo de tal modo que lo que se podría ver dependería tanto en los accidentes de la colisión como en las características originales del átomo.

Nicolás Copérnico, 1473–1543

H. DINGLE

Hace exactamente cuatrocientos años, el astrónomo polaco Nicolás Copérnico recibía en su lecho de muerte la primera copia impresa de su libro *de Revolutionibus Orbium Cœlestium.* En el artículo que sigue, el Profesor Dingle señala el curso de las doctrinas cosmológicas primitivas y demuestra que la obra de Copérnico inició la marcha del pensamiento europeo dentro del campo científico.

Pocas fechas hay en la historia del pensamiento europeo que se destaquen como puntos de discontinuidad o, en verdad, de brusco cambio; y de ellas, una de las más eminentes es la del 24 de mayo de 1543. En tal fecha, Nicolás Copérnico recibió en su lecho de muerte la primera copia impresa de su libro *de Revolutionibus Orbium Cœlestium*, destinado a suministrar los nuevos fundamentos no sólo de la Astronomía, sino de toda la perspectiva filosófica que condiciona en último término el conjunto de las reacciones del hombre respecto del mundo de su experiencia.

Copérnico era polaco de nacimiento, descendiente de polacos, a pesar de que algunos escritores alemanes, una vez reconocida su grandeza, hayan pretendido lo contrario. Nació el 19 de febrero de 1473 en Toruń, sobre el Vístula; allí asistió a la escuela y de allí marchó más tarde a la Universidad de Cracovia, a la sazón uno de los más famosos centros de cultura en Europa. Es probable que bajo la influencia de su tío materno, Lucas Watzelrode, mentor suyo desde los diez años, a la muerte de su padre, Copérnico decidiese entrar en el servicio de la Iglesia. Watzelrode era hombre de firme carácter y llegó a ser Obispo de Ermeland cuando Copérnico era aún joven, y pretendió conseguir para su sobrino una canonjía en la Catedral de Frauenburg. Su primer intento fué en vano, y por consiguiente, Copérnico dejó Cracovia y se trasladó a Bolonia para continuar sus estudios en preparación de un nuevo intento que había de realizarse satisfactoriamente más tarde. Permaneció cuatro años en Bolonia y a pesar de que hacia esa fecha le fué concedida la canonjía, marchó de allí a Padua, Roma y Ferrara a fin de ampliar sus estudios, regresando por último a Ermeland en 1506, tras diez años de continuo trabajo en Italia.

Poca duda cabe de que aunque tales estudios no fuesen primordialmente en Astronomía, los fundamentos de las nuevas ideas astronómicas quedaron firmemente establecidos durante este período de su vida. Eran múltiples los deberes de un canónigo, y Copérnico estudió Derecho y Medicina, no obstante ser evidente que meditó largamente sobre materias de Astronomía, y profesó también en Matemáticas durante su residencia de un año en Roma. El catedrático de Astronomía en Bolonia era Novara, hombre de ideas originales, con quien es sabido que Copérnico trabajó « no como alumno, sino más bien como auxiliar y testigo de sus observaciones ».

Era aquél tiempo de considerable desconcierto político, y en las guerras entre Polonia, Prusia y las Ordenes Teutónicas, Ermeland fué centro de graves disturbios. Además de sus deberes como canónigo y como médico — ya que continuamente tuvo que atender a la salud corporal de sucesivos Obispos y a la de los pobres de la Diócesis — Copérnico fué encargado de la defensa militar del distrito, labor que llevó a cabo con cierta distinción.

No obstante sus múltiples ocupaciones, el nuevo sistema de Astronomía continuaba siendo durante todo este tiempo su interés primordial y permanente. El mismo nos dice en su Prefacio a *de Revolutionibus* que trabajó en esta obra durante unos treinta años; y el investigador polaco Birkenmajer, estudiando tanto las notaciones en fragmentos de papel, márgenes de libros y aún en las paredes, así como las correcciones y adiciones sucesivas del manuscrito de *de Revolutionibus*, ha reconstruído el crecimiento y gradual transformacíón de sus ideas. En ocasiones, Copérnico realizó investigaciones propias, pero él era ante todo un pensador, no un observador, y se hallaba siempre dispuesto a aceptar con respeto — a veces con un respeto excesivo — las observaciones de astrónomos anteriores. Era hombre de disposición retirada y vaciló largo tiempo antes de publicar su gran obra, a pesar de los ruegos y solicitudes de sus amigos y admiradores. Sólo

F
d
(1
M

F
C

F
R

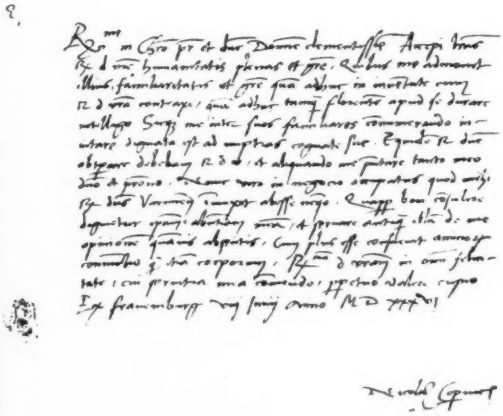


FIGURA 1 (*arriba*) – *La casa de Copérnico en Toruń durante la visita de Napoleón en* 1807.

(Las ilustraciones que acompañan a este artículo se publican por cortesía del Ministerio Polaco de Información.)

FIGURA 2 (*centro, izquierda*) – *Muestra de la escritura de Copérnico.*

FIGURA 3 (*derecha*) – *Copérnico—retrato en la Colección Rapperswill, de la Biblioteca Nacional de Varsovia.*

FIGURA 4 – *El monumento a Copérnico en Varsovia, de Thorvaldsen. La inscripción que dice « A Nicolaus Copernicus: sus compatriotas » ha sido alterada durante la ocupación alemana y hoy se lee: « A Nicolaus Copernicus: la Nación alemana ».*

FIGURA 5 – *Copérnico en la torre de Frauenburg.* (Pintura de J. Matejko)

accedió ya hacia el final de su vida, luego que Rheticus, joven y entusiasta discípulo suyo, quien había trabajado dos años en su compañía estudiando el manuscrito, hubo publicado con su permiso un resumen preliminar de la obra. Mucho antes, sin embargo, había hecho Copérnico circular en forma de manuscrito un *Commentariolus* o breve compendio de sus ideas, las cuales pudieron llegar así a ser bien conocidas entre los astrónomos.

Para comprender bien la obra de Copérnico, debemos ante todo tener algún conocimiento de las ideas prevalentes en aquel tiempo sobre Astronomía y Filosofía. Tales ideas tenían su origen en Aristóteles, en cuyo sistema la Tierra ocupaba una posición central y estacionaria mientras que los cuerpos celestes se hallaban unidos a esferas materiales que giraban incesantemente alrededor de la Tierra con un movimiento uniforme. La moción de cualquier cuerpo particular podía ser la resultante de las mociones de diversas esferas, ya que éstas podían comunicarse entre sí sus movimientos. Todas las estrellas fijas se hallaban incrustadas en la esfera más externa, y sus movimientos, que la observación había descubierto ser simples y uniformes, no necesitaban de la interferencia de las demás esferas. Los Planetas, no obstante, incluyendo también Sol y Luna, parecían moverse irregularmente y sus órbitas habían de representarse por medio de combinaciones de mociones circulares uniformes.

Tal sistema, puramente geométrico, iba comoquiera completado con ciertas ideas físicas o, por mejor decir, metafísicas. La materia bajo la esfera lunar, consistente de los cuatro « elementos »: tierra, agua, aire y fuego, era mudable y corruptible. Tendía a desplazarse en línea recta bien hacia el centro del universo, por gravedad, como en el caso de la tierra y el agua, o bien, por levedad, en la dirección opuesta, como en el caso del aire y el fuego. Tales mociones no podían ser eternas, ya que tenían como término el centro universal y la esfera envolvente: el universo de Aristóteles era por esencia finito. Por el contrario, la materia celestial que componía las esferas y cuerpos celestes, era de naturaleza más perfecta, no sujeta a cambio ni descomposición, y sometida exclusivamente al movimiento circular, eterno y perfecto.

Una muy distinta arquitectura del universo se hallaba establecida ya hacia la época de Ptolomeo en el siglo II de la Era Cristiana. Con la excepción de la esfera de estrellas fijas en el límite externo del universo, las otras esferas materiales y perfectas habían caído en desuso; círculos imaginarios ocupaban ahora su lugar. Cada planeta se desplazaba en un círculo cuyo centro se movía alrededor de otro círculo, y así sucesivamente hasta llegar a un círculo cuyo centro era fijo respecto de la tierra, aunque no necesariamente en ésta. Este último círculo era llamado « Deferente », y el resto « Epiciclos »; el problema consistía en fabricar un sistema de tales círculos que produjera los movimientos observados en los planetas. Este era puramente un problema geométrico y ocupó las más altas inteligencias del mundo antiguo.

En los siglos sucesivos, las observaciones fueron más numerosas y más exactas, y hubo necesidad de modificar ciertos detalles del sistema para adaptarlo a los requerimientos de los hechos, para « salvar el fenómeno », como solía decirse. Otro problema surgió que necesitaba solución con creciente urgencia: era necesario reconciliar los círculos Ptoloméicos con las esferas Aristotélicas, porque la autoridad de Aristóteles alcanzó durante la Edad Media casi el carácter de divina sanción. Ptolomeo había hecho caso omiso de las esferas, aunque por otra parte, tampoco había dado gran importancia a los círculos, considerándolos únicamente como un artificio geométrico, sin « realidad » alguna; y probablemente hubiera aceptado las esferas como algo real, pero no conducente a la « salvación del fenómeno ». Mas otros pensadores posteriores no podían confrontar sin cierta alarma una filosofía en la que lo « real » no era usable y lo útil era imaginario. En una cosa todos coincidían: a saber, en la supremacía de la física Aristotélica — en la distinción entre los cielos incorruptibles y la corruptible Tierra — y la necesidad de que todos los movimientos celestiales estuvieran compuestos de uniformes mociones circulares. Pero, a pesar de sus ingeniosos esfuerzos, el divorcio existente entre la realidad y la practicabilidad seguía siendo un problema espinoso, añadiéndose a esto el que con la acumulación de observaciones se hacía cada vez más difícil « salvar el fenómeno » con una combinación razonablemente simple de círculos. Tal era el estado de cosas hacia el que dirigió su atención el jóven Copérnico, la mente abierta hacia nuevas posibilidades por el espíritu general del Renacimiento y la influencia particular de Novara.

Copérnico aceptó la Metafísica Aristotélica con absoluta fidelidad. Adoptó también los conceptos tradicionales de las líneas excéntricas, deferentes y epiciclos, como medios geométricos de

representación de los fenómenos. Y aún más, admitió la existencia de la esfera externa a una distancia finita de la tierra. Con todo, en lo que difirió respecto de Ptolomeo y de las creencias generales de su época fué en rechazar ciertos artificios que, según su opinión, respetaban la letra de las leyes de Aristóteles a expensas del espíritu, haciendo por consiguiente del mecanismo celeste un algo mucho más complejo que lo que Copérnico consideraba propio de la dignidad de los cielos. Ptolomeo, particularmente, consideraba que un cuerpo se movía « uniformemente » en un círculo cuando su velocidad angular con respecto a cualquier punto interno era uniforme, aunque tal punto fuese o no el centro del círculo. Copérnico, no satisfecho con esto, buscó la manera de evitarlo.

Y la halló abandonando la idea de que la Tierra permanecía inmóvil. Si se suponía, por el contrario, que el Sol estaba inmóvil y la Tierra sometida a ciertos movimientos que explicasen las aparentes mociones de estrellas y planetas, entonces no sólo podría mantenerse la moción uniforme, sino que también podrían ser presentados los fenómenos por medio de una combinación de círculos muchísimo más simple. Y, por añadidura, los círculos se moverían todos en idéntica dirección en vez de hacerlo en direcciones opuestas, siendo así obedecido en otro caso particular el general principio de uniformidad. Con este simple cambio — el cambio de la base de reposo del Universo — Copérnico pudo reducir el número de círculos celestiales a 34, de más de 80 que eran antes. Los movimientos atribuídos a la Tierra eran: primeramente, un movimiento diario de rotación sobre su eje, a fin de poder explicar el alzarse y ponerse de los cuerpos celestes; segundo, una revolución anual alrededor del Sol que explicase el movimiento aparente de este astro a lo largo de la eclíptica y los movimientos retrógrados de los planetas; y en tercer lugar, un movimiento cónico de su propio eje, justificativo de la precesión de los equinocios y de ciertos efectos ilusorios que Copérnico, como otros muchos en su época, pensaba ser reales.

Inmediatamente surgieron objeciones contra lo absurdo de tal cambio en la base del Universo, y no, como por lo común se cree, contra su impiedad. Si la Tierra girase — se objetó — las nubes y los cuerpos lanzados al aire quedarían atrás, y caerían más hacia el Oeste del punto de donde fueron lanzados, y la Tierra además volaría en mil pedazos a causa de la gran velocidad de su movimiento. No pudo hallar Copérnico respuesta a todos estos argumentos, ya que los fundamentos de la Mecánica dinámica aún esperaban la labor de Galileo. La réplica de Copérnico a la objeción de que el movimiento de revolución de la Tierra alrededor del Sol tenía que requerir un aparente movimiento « paraláctico » de las estrellas, fué afirmar que la exiguidad de la órbita terrestre comparada con la distancia de las estrellas hacía imposible observar tal movimiento. Esta era, naturalmente, la verdadera explicación, pero durante 300 años el movimiento permaneció sin ser observado, aunque mientras tanto habían salido a luz otras pruebas de la revolución de la Tierra. Tomado en conjunto, la mejor razón en favor del sistema de Copérnico hacia la época en que se originó, era la gran simplicidad que introdujo en las descripciones de las mociones celestiales.

Por esta razón, el problema que preocupó a los continuadores de Copérnico no era en modo alguno de fácil solución; a saber: el Universo copernicano ¿era algo real, o era simplemente un procedimiento geométrico de explicar los fenómenos? La opinión del mismo Copérnico en éste asunto es dudosa, aunque no cabe duda que él consideraba su sistema como la mejor manera de salvar el fenómeno. Con anterioridad a la publicación de su libro escribió una carta, perdida hoy, a su amigo Andreas Osiander, en la que evidentemente se trataba sobre la materia, ya que en su respuesta Osiander mismo aconsejaba a Copérnico que insertase en su obra un prefacio declarando que hipótesis tales como las que él presentaba no eran artículos de fé, sino bases de cálculo, y que no importaba que resultasen falsas con tal que representaran bien los fenómenos. Al parecer, el libro contenía tal prefacio, pero sin firma, y llegó a averiguarse posteriormente que no era de Copérnico sino de Osiander, quien estaba a cargo de la impresión de la obra.

Es indudable que la intención de Osiander era aplacar a los teólogos y filósofos quienes, el temía, habrían de considerar el libro opuesto a las Sagradas Escrituras. No podemos nosotros, sin embargo, imaginar semejante temor en Copérnico; el Papa tenía noticia de su sistema y había aceptado la dedicatoria del libro; altos dignatarios de la Iglesia Católica insistieron en su publicación, y hasta uno de ellos, el cardenal Schönberg, colaboró con unas palabras preliminares. No es probable, sin embargo, que Copérnico hubiese temido la supresión del libro, y él mismo nos dice que lo que retrasó su publicación, fué el temor al ridículo de los iletrados. Por

otra parte, Osiander era más bien un obscuro luterano, y Lutero y Melanchthon hablaban desdeñosamente del sistema copernicano, así que parece natural que Osiander deseara defender su adhesión a tal sistema. No hubo, de hecho, objeción religiosa formal hasta mucho después de la muerte de Copérnico, cuando aparecieron otros problemas que complicaron la cuestión. *de Revolutionibus* no fué introducido en el *Index* hasta 1616.

A pesar de esto, el avance en el mundo de la Astronomía de la concepción de Copérnico fué continuo, aunque lento al principio. Tuvo importancia esencial en el trabajo de Kepler, descubridor de la forma elíptica de las órbitas planetarias, y en el subsiguiente trabajo de Newton, conocido de todos. Y en 1943 podemos afirmar, sin duda alguna, que la obra publicada en 1543 señaló el momento en que el pensamiento europeo inició su marcha en el método científico.

Correspondencia

(*Continuación de la pág.* 124)

EL PUESTO DE LOS HOMBRES DE CIENCIA EN LA COMUNIDAD
(*continuación*)

y tecnológica en la obra de guerra realizada hasta el presente ha sido apreciado de manera general, es de una importancia parecida el que los hombres de ciencia hagan resaltar de manera lo suficientemente clara que para el mantenimiento puro y simple de las normas de vida de los países aludidos será necesario continuar estos trabajos en una escala mucho mayor durante y después del período de reconstrucción.

Sin embargo, existen muchos hombres de ciencia que se sienten preocupados por las reivindicaciones exageradas, hechas muy frecuentemente por personas que inmerecidamente se atribuyen el título de portavoces de la ciencia, en el sentido de que todo podría ser solventado de manera satisfactoria si se destinara una mayor proporción de los ingresos nacionales a trabajos de investigación científica y si se concedieran puestos de autoridad especial a los hombres de ciencia para que pudieran participar en la administración de los asuntos del Estado.

De todas maneras, los problemas sociales no tan sólo exigen la consideración de factores materiales, sino que también merecen la apreciación debida de los factores morales y espirituales. Esto no es un deber del hombre de ciencia, en su calidad de hombre de ciencia, correspondiendo a la comunidad, de la cual él forma parte, el considerar los diversos factores y tomar la decisión debida. No podría hallarse un peor despotismo que el de un autoritarismo creado por elementos científicos y tecnológicos faltados de sentimientos espirituales.

[*En vista de las controversias sobre el asunto de esta carta, el Profesor Haldane fué invitado a expresar su opinión.* RED.]

De J. B. S. Haldane, M.A., F.R.S.

Es una lástima que los firmantes de la carta encabezada « El Puesto de los Hombres de Ciencia en la Comunidad» hayan omitido de indicar quien sostiene los puntos de vista que ellos resumen en el segundo párrafo, y que luego ellos atacan. Soy de la opinión de que nuestra sociedad (cualquiera que fuera el sistema económico adoptado) podría ser regulada de manera más eficiente si una buena parte de nuestros gobernantes hubieran sido mejor preparados desde el punto de vista científico.

El gobierno actual de la Gran Bretaña comprende un hombre de ciencia profesional y un gran número de abogados. ¿Es que los firmantes de la carta se inclinan a creer que los hombres [de ciencia están más faltados de « sentimientos espirituales» que los abogados? Aún en el caso de que estuvieran dominados por esta creencia, ¿no es probable que el país hubiera sido mejor atendido si, durante los veinte años pasados, un Ministro de Hacienda hubiera sido estadista profesional, un Ministro de Agricultura hubiera sido biólogo, y si un Ministro de la Aeronáutica hubiera sido físico? Todos los firmantes están dotados de habilidad administrativa y científica. Todos ellos han sacrificado trabajos de investigación científica para participar en el trabajo de organización. Me domina la impresión de que hombres dotados de estas características deberían desempeñar un papel más importante en la administración de las naciones.

Los hombres de ciencia no han de limitarse a facilitar su ayuda sobre asuntos técnicos al ser consultados. Sus conocimientos especiales les permiten descubrir defectos y sugerir remedios que no resultan aparentes a los demás. Puesto que esta es la misión que tienen destinada, no tan sólo tienen derecho, sino que como demócratas tienen el deber de pedir a sus conciudadanos que les confíen puestos de « autoridad especial en la administración de los asuntos del estado». Si llegara un día en que el Gabinete Ministerial comprendiera tantos hombres de ciencia como abogados o directores de compañías, entonces sería oportuno el considerar los peligros de un « autoritarismo científico y tecnológico».

Bosques del mar

F. E. FRITSCH

La variedad y profusión de la flora marina no ocupan la atención debida del público en general, para el cual las algas marinas no pasan de ser algas marinas puras y simples. El artículo del Profesor Fritsch pone de manifiesto que los bosques del mar ofrecen tanto interés como los bosques terrestres, comprendiendo una gran variedad de plantas de formas verdaderamente extraordinarias.

Las algas marinas de color pardo que cubren profusamente las rocas entre los niveles de la marea (figura 1) de las costas de la Gran Bretaña y de otras costas septentrionales, comprenden principalmente los fucos vesiculosos y aserrados (*Fucus vesiculosus* y *F. serratus*), frecuentemente acompañados por el *Ascophyllum*, de tamaño ligeramente mayor, con frondas en forma de tira, dilatadas de vez en cuando por vesículas de aire. Su exposición diaria al secado y a extremos de temperatura probablemente que es la causa que contribuye al tamaño relativamente pequeño de estas algas marinas. Raras son las veces en que las plantas de *Fucus* exceden una longitud de 1 metro, y son pequeñas en comparación con las *Laminarias* situadas en la línea de la costa permanentemente sumergida, de forma que tan sólo quedan descubiertas a marea baja (figura 2). Las plantas de la familia de las laminarias, o Laminariales, constituyen elementos importantes de la flora marina en los mares más fríos de todas partes del mundo, y se distinguen por sus grandes dimensiones, así como por su crecimiento acostumbrado en comunidades muy densas, semejantes a los bosques terrestres.

El tallo o estípite flexible de las laminarias produce una fronda única (figura 3) o una fronda dividida. Las plantas frecuentemente alcanzan una longitud que varía entre 4 y 5 metros, mientras que los tallos de las plantas más viejas pueden ser de un diámetro de 25 mm. y pueden mostrar aros de crecimiento parecidos a los de los troncos de los árboles.

La mayor parte de las laminarias son plantas vivaces, y su tallo se transforma en más largo y más grueso a medida que transcurren los años, mientras que cada primavera crece una nueva fronda de una región formadora en la parte superior del tallo (figura 4) y suplanta la fronda de la temporada anterior. La nueva fronda permanece siempre unida y conserva esta forma en algunas laminarias (figura 3), pero en otras (por ejemplo, en la *Laminaria digitata*) forma hendiduras sucesivas (figura 4), las cuales, extendiéndose hasta el extremo, dividen la fronda en segmentos angostos, y finalmente el conjunto tiene el aspecto de una enorme mano con dedos.

Entre las muchas sorprendentes formas que pueden hallarse en otros océanos, una de las plantas más dignas de mención es el varecs gigante (*Nereocystis*, figura 5), con un estípite que puede ser de una longitud hasta 40 metros, mientras que las numerosas frondas son sostenidas cerca de la superficie por el gran flotador, el cual constituye la única parte visible desde la orilla. El varecs cervuno (*Pelagophycus*), de tipo parecido al anterior, denominado en esta forma a causa de que las frondas están distribuídas a lo largo de dos tallos bifurcados horizontales situados encima del flotador, se halla exclusivamente en California. Tanto las plantas del varecs cervuno como del varecs gigante (*Nereocystis*) a menudo son arrastradas hacia alta mar en tiempo tempestuoso y a veces pueden ser vistas flotando a la deriva a muchos kilómetros de la costa.

A lo largo de la totalidad de la costa occidental de América hay enormes expansiones de algas *Macrocystis* (figura 7). En estas plantas la flotación es lograda gracias a las pequeñas vesículas de aire situadas en las bases de las « hojas » agrupadas (figura 8). La posesión de estos flotadores permite que estas plantas puedan exponer sus frondas cerca de la superficie del agua, donde pueden obtener la energía luminosa requerida para constituir su cuerpo con el bióxido de carbono absorbido del agua. Ciertos Laminariales más pequeños tienen tallos más robustos, de forma que permanecen en posición vertical aún sin contar con apoyo alguno. Dentro de esta categoría puede citarse la palma marina (figura 9), los crecimientos densos de la cual permanecen completamente inafectados por los violentos movimientos de las olas del Pacífico.

La multitud de hendiduras que tienen lugar en

FIGURA 2 – *Cuando la marea es baja, a veces pueden verse crecimientos muy ufanos de laminarias grandes (especialmente* Laminaria digitata), *tal como se ilustran en la fotografía. Sobre la superficie del mar, a la izquierda, puede vislumbrarse otra planta laminaria que habita en aguas más profundas. La fotografía fué tomada por el Dr F. Børgesen en las costas de las Faroes.*

FIGURA 1 – *Adheridos a las rocas (entre los niveles de la marea) de las costas de clima templado se hallan crecimientos muy profusos de diversas plantas fucoideas. Esta fotografía, tomada por el Dr F. Børgesen en las Faroes, muestra una masa densa de fuco vesiculoso* (Fucus vesiculosus), *con una pequeña proporción de* Ascophyllum *apareciendo cerca de la base.*

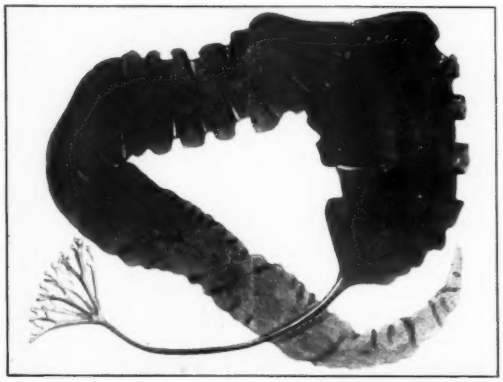
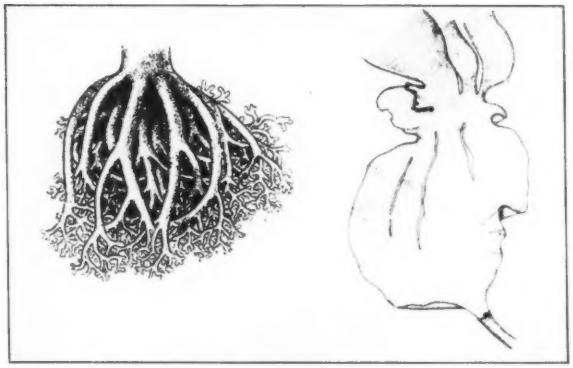


FIGURA 3 – *La fotografía (tomada por Harvey) ilustra una pequeña planta de la laminaria de fronda única* (Laminaria saccharina), *reducida a una sexta parte, aproximadamente, de su tamaño natural. Al igual que todos los miembros del grupo de las algas laminarias, la planta consiste de un órgano de base de unión, de un tallo y de una fronda hojosa larga.*

FIGURA 4 – *Gracias a sus ricos agarres ramosos, uno de los cuales está ilustrado a la izquierda, las laminarias quedan firmemente sujetadas a las rocas. Las plantas arrancadas en tiempo tempestuoso frecuentemente se hallan intactas, con fragmentos de roca todavía aprisionados por las ramas de agarre. La figura de la derecha ilustra la fronda de nueva temporada de una laminaria digital creciendo debajo de los restos de la planta antigua: en la nueva fronda pueden verse las primeras hendiduras. (Fotografía de Sauvageau y Setchell.)*



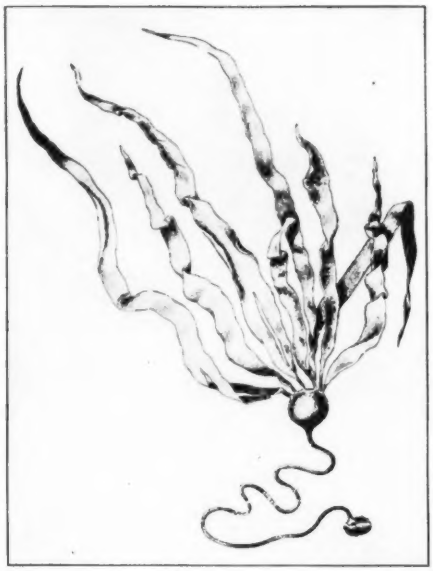


FIGURA 5 – *El varecs gigante* (Nereocystis), *una de las algas marinas de mayores dimensiones, ocupa grandes superficies en el fondo del mar cerca de las costas del Pacifico de la América del Norte; se desarrolla en profundidades de* 15 *a* 18 *metros de agua. Las frondas que se forman a causa de hendiduras progresivas son mantenidas en la superficie por el enorme flotador situado en la parte superior del tallo. La planta ilustrada es relativamente joven (fotografía de Postels y Ruprecht); las plantas más viejas tienen tallos mucho más gruesos y un mayor número de frondas.*

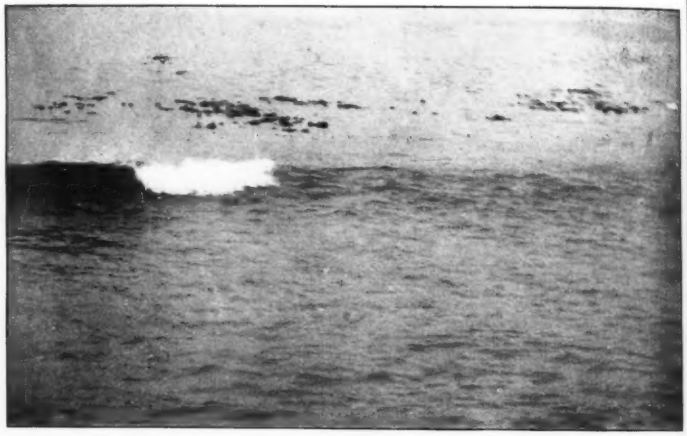


FIGURA 6 – *Vistos desde la costa, los flotadores de las numerosas plantas Nereocystis ofrecen el aspecto de objetos negros, subiendo y bajando con el movimiento de las olas.*

FIGURA 7 – *La mayor de las Laminariales extra-europeas es la planta* Macrocystis, *la cual puede alcanzar una longitud de* 60 *metros entre sus extremos. Abunda mucho en varios puntos fuera de la costa de California (donde se tomó la fotografía aquí reproducida), formando lechos muy extensos que actúan como rompeolas naturales.*

FIGURA 8 – *Los delgados tallos de las algas* Macrocystis *se levantan con dirección oblicua con relación a la superficie del mar, donde cubren grandes distancias, flotando con la ayuda de las pequeñas vesículas situades en las bases de las numerosas frondas de naturaleza aserrada. En la fotografía anterior tan sólo pueden verse estas porciones flotantes. Desde la punta de forma cimitarra del tallo flotante (figuras de la derecha), las numerosas frondas son hendidas de manera progresiva. (Fotografía de Skottsberg.)*

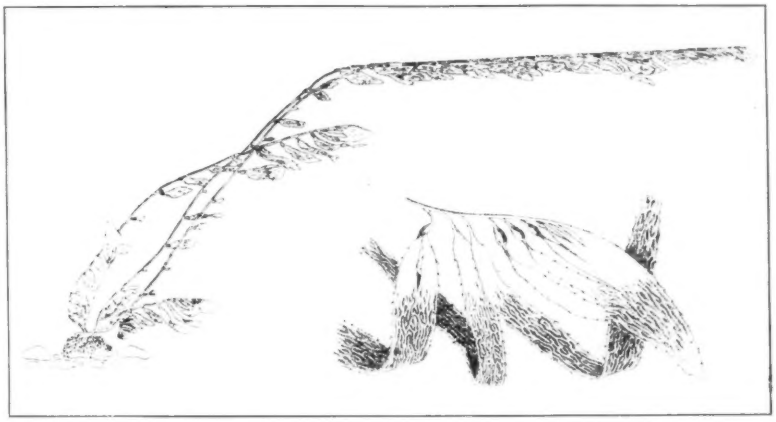


FIGURA 9 – *La palma marina* (Postelsia) *es una planta mucho más pequeña, creciendo de manera gregaria inmediatamente encima del nivel de marea baja en las costas del Pacífico (América del Norte). En esta fotografía el tallo grueso y robusto se mantiene erguido, y las numerosas frondas, al ser descubiertas por el mar, cuelgan a lo largo del tallo. Las plantas alcanzan una altura de 46 centímetros aproximadamente.*

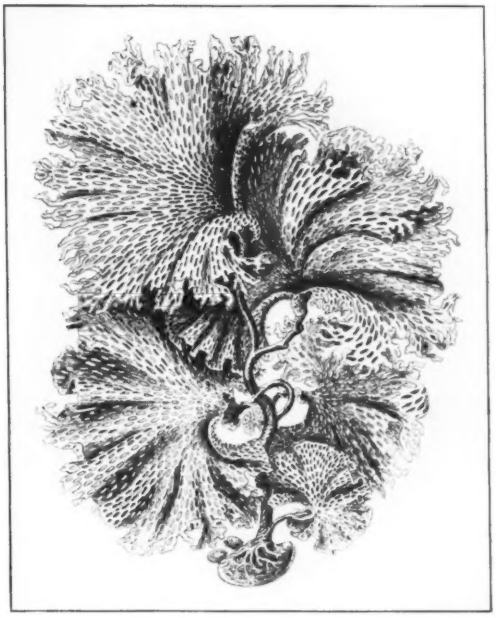


FIGURA 10 – *Una de las algas marinas más extraordinarias del grupo de las laminarias es la planta Artica* Thalassiophyllum, *la cual crece hasta alcanzar una altura de 1 metro, aproximadamente. El firme estipite, de forma torcida, sostiene cierto número de frondas, arrolladas a lo largo de un borde como una corneta y perforadas por muchos agujeros de disposición regular. (Fotografía de Postels y Ruprecht.)*

FIGURA 11 – *Entre las mayores algas marinas septentrionales hay las Alarias, en las cuales el tallo relativamente corto cada año desarrolla crecimientos abultados que llevan los órganos reproductores. Tanto estos órganos como el nervio grueso que refuerza las largas frondas constituyen productos de la dieta humana de diversas partes del mundo. (Fotografía de Kjellman.)*

FIGURA 12 – *Las algas marinas del género* Egregia *forman extensas praderas al nivel de la marea y también debajo de este nivel en las costas del Pacífico de la América del Norte. Los largos y balanceantes tallos, provistos de muy pocas ramas, llevan gran abundancia de frondas hojosas pequeñas, y de vez en cuando llevan también flotadores.*

FIGURA 13 – *Esta planta del género* Egregia *(muy acertadamente denominada el varecs plumoso) medía unos* 5,50 *metros de longitud. Obsérvense los flotadores que permiten que las frondas puedan flotar libremente en la superficie.*

las frondas de estas diversas plantas proporcionan una gran superficie para la absorción de luz, y al mismo tiempo una tal superficie se presta a seguir fácilmente el movimiento de las olas. Otras Laminariales se distinguen por una característica muy diferente, en el sentido de que en las frondas que se están extendiendo, se forman numerosos agujeros a través de los cuales puede pasar el agua. Esto ocurre tratándose de la planta Agarums del Artico, en la cual la fronda no es dividida, y también tratándose de la planta *Thalassiophyllum* (figura 10), cuyo género forma pequeños bosques submarinos en el Mar de Bering y fuera de las costas de Alaska.

Todas las Laminariales reproducen por medio de celdas de movimiento espontáneo que dan lugar a una generación microscópica que produce las nuevas algas marinas. Las celdas reproductoras son formadas en receptáculos agrupados que cubren grandes superficies en las frondas corrientes. Sin embargo, en las Alarias estas celdas son limitadas dentro de abultamientos exteriores especiales que se forman sobre el tallo corto (figura 11). Las hojas o frondas vegetativas crecen hasta alcanzar una gran longitud; en la *Alaria esculenta* la longitud puede exceder de 6 metros, mientras que la *Alaria fistulosa* del Pacífico puede alcanzar 25 metros, con un ancho variando entre 1,80 y 2 metros. Tratándose de algas del género *Egregia* (figura 12), las plantas consisten casi enteramente de estípites achatados que producen gran número de crecimientos hojosos (figura 13), mientras que la fronda original conserva dimensiones pequeñas.

Por espacio de muchos años, tanto las algas fucoideas como las *Laminarias* han sido empleadas para fines de abono, y su valor bajo este respecto es debido a su alto contenido de potasio. Antes de la explotación de los depósitos de Stassfurt, las cenizas obtenidas de estas algas marinas después de su quemado proporcionaban, de hecho, la fuente principal de suministro de potasio y eran empleadas en gran escala en la elaboración de jabón y vidrio. También proporcionaban yodo, en cuyo producto la *Laminaria* es especialmente rica. En fecha más reciente, el algín derivado del mucílago de la *Laminaria*, *Nereocystis*, etc., ha sido utilizado para diversos fines, pudiéndose citar entre ellos la elaboración de materiales adhesivos y de cierta clase de seda artificial, y no cabe la menor duda de que en el porvenir se extenderá mucho más la explotación de las algas marinas de color pardo. Cerca de Puget Sound (Estados Unidos de la América del Norte), la producción anual de *Nereocystis* se lleva calculada como ascendiendo a 200.000 toneladas aproximadamente, mientras que los lechos de varecs de las costas de California abarcan una superficie de más de mil kilómetros cuadrados, produciendo anualmente 59.300.000 toneladas.

Investigaciones científicas en la China

La Academia Sínica, la organización más importante de investigación científica, bajo el Gobierno Nacional Chino, ha llevado a cabo un extenso programa en toda la China Libre, a pesar de lo menguados que están sus finanzas, su personal, y su material y aparatos.

La Academia mantiene diez institutos: de Física, Química, Ingeniería, Geología, Astronomía, Meteorología, Zoología y Botánica, Psicología, Historia y Filología, y Ciencias Sociales. Hasta el mes de julio de 1937, los tres primeros estaban situados en Shanghai, mientras que la oficina central y los otros siete, estaban en Nanking. Hoy, la oficina central ha sido transladada provisoriamente a Chungking, y los institutos de Zoología y Botánica, Meteorología, Historia y Filología, y de Ciencias Sociales, están ubicadas en dos parajes distintos en Szechuan. Los institutos de Química, Astronomía, e Ingeniería, están en Kunming, y los de Física, Geología y Psicología en Kweilin.

El Consejo Nacional de Investigaciones Científicas fué organizada como parte de la Academia Sínica en 1933. Tenía como fin, promover y coordinar las investigaciones científicas en todo el país, usando la palabra «científica» en su sentido más amplio, para abarcar las ciencias sociales e históricas. Forman el consejo el presidente de la Academia Sínica, los directores de sus institutos de investigación, y treinta miembros elegidos por los profesores de las universidades nacionales. Los nombramientos de estos últimos duran cinco años. Normalmente, el consejo se reune una vez al año.

La Academia Sínica fué fundada en 1928, en Nanking, siendo su primer presidente el finado Dr Tsai Yuan-Pei. Después de su muerte, en marzo de 1940, el Gobierno Nacional nombró al Dr Chu Chia-Hua como presidente interino. Durante el período 1939 a 1941, sirvieron sucesivamente como secretarios generales H. C. Zen, y Fu Sze-Nien. Este último renunció el cargo durante el otoño de 1941, y el Dr Yeh Chi-Sun, profesor de Física en la Universidad Nacional de Chinghua, fué nombrado para ocupar el puesto.

La determinación electrométrica del *p*H y algunas de sus aplicaciones

H. T. S. BRITTON

La regulación y la exacta medida de la concentración del hidrógeno-ión son imprescindibles en gran número de operaciones industriales, comerciales y agrícolas. Su aplicación a los problemas de química pura, aunque menos ostentosa es no menos importante, tal como el Profesor Britton pone de manifiesto en las líneas que siguen.

El agua constituye un sistema químico en el cual el equilibrio $H_2O \rightleftharpoons H^{\cdot} + OH'$ obedece a la relación $K_W = [H^{\cdot}]\,[OH']$; por lo tanto, la concentración de hidrógeno-iones $[H^{\cdot}]$ está relacionada con la de hidroxilo-iones $[OH']$ por la igualdad $[H^{\cdot}] = K_W/[OH']$, la cual es aplicable a cualquier solución acuosa. Sørensen introdujo un método muy útil para expresar la concentración de hidrógeno-iones en función del *p*H; recordemos que este último es el valor absoluto del exponente negativo a que ha de elevarse la base 10 para expresar la concentración de hidrógeno-ión. Así: $[H^{\cdot}] = 10^{-pH}$, o sea, $pH = -\log_{10}[H^{\cdot}]$. Para el agua pura es: $[H^{\cdot}] = [OH']$, por lo tanto $[H^{\cdot}] = \sqrt{K_W}$. Para temperaturas corrientes $K_W = 10^{-14}$, por lo tanto $[H^{\cdot}] = 10^{-7}$, de donde el *p*H correspondiente al punto neutro es 7. Supongamos una solución decinormal de ácido clorhídrico completamente ionizado; entonces el *p*H vale 1, mientras que para una solución básica decinormal completamente ionizada $[OH'] = 10^{-1}$, de donde $[H^{\cdot}] = 10^{-14}/10^{-1}$ y por lo tanto su *p*H sería 13. Análogamente, el *p*H de una solución centinormal de un álcali ionizado es 12. Por lo tanto, la acidez y la alcalinidad pueden expresarse en función de una escala de *p*H que va desde cero hasta 14, y cuyo valor *p*H 7 corresponde al punto de transición de acidez a alcalinidad, tomando como punto de referencia para la acidez la condición $[H^{\cdot}] > [OH']$, y para la alcalinidad $[H^{\cdot}] < [OH']$.

El método directo de medida de la concentración o actividad de hidrógeno-iones es por medio del electrodo de hidrógeno. Para ello existen también otros procedimientos, pero hemos de mencionar que todos ellos dependen del de electrodo de hidrógeno, pues han de ser contrastados con él. Estos métodos son: (1) *Electrométrico:* electrodo de quinhidrona; electrodos metal-óxido metálico, de los cuales el más importante es el electrodo de antimonio; y electrodo de vidrio. (2) *Colorimétrico, sin* o *con* la ayuda de soluciones amortiguadoras patrón.

El electrodo de hidrógeno tiene una aplicación limitada, pues no puede ser usado en presencia de la mayoría de agentes oxidantes, así como tampoco en soluciones conteniendo cationes de metales más nobles que el hidrógeno. Las reducciones catalíticas pueden ser atenuadas usando depósito negro de platino sobre los electrodos, de manera que los potenciales iniciales son los correspondientes al equilibrio de los hidrógeno-iones antes de que la subsiguiente reducción tenga tiempo de iniciarse. Esto se aplica a las soluciones diluídas de ácido nítrico y de ácido crómico, y a la sangre. Tales limitaciones son, en menor escala, aplicables a la quinhidrona; tanto es así que puede usarse con ácidos no saturados y en presencia de iones cúpricos. Su mayor inconveniente es que no puede usarse en soluciones alcalinas de *p*H mayor que 7. El electrodo de antimonio está hallando cada día mayores aplicaciones, especialmente en los procesos industriales y en investigaciones médicas. Sus potenciales pueden ser fácilmente calibrados según valores de *p*H, pero como que estos potenciales son función de la edad y naturaleza de la capa de óxido formada encima de su superficie, este tipo de electrodo requiere ser frecuentemente calibrado. La existencia de materias en disolución, tales como ácidos libres, bases, o sales ácidas, tienden a alterar la capa de óxido de antimonio y por ende el electrodo de antimonio se convierte en un indicador de hidrógeno-ión bastante errático. En condiciones ordinarias y para valores comprendidos entre 1 y 11 su potencial es aproximadamente una función lineal; para valores menores puede dar lecturas directas del *p*H con variaciones de $\pm$ 0,05 unidad *p*H; este límite de error es más que suficiente para la mayoría de los fines industriales.

Utilizando una calidad de vidrio adecuada, con preferencia de silicato doble de sodio y calcio (72 por ciento de SiO_2, 22 por ciento de Na_2O, 6 por ciento de CaO), se pueden obtener electrodos de vidrio cuyos potenciales tienen una correlación definida con los del electrodo de hidrógeno inmergido en la misma solución, dentro de valores del *p*H hasta 9,5. Para soluciones de *p*H más elevado, el electrodo establece un equilibrio con los hidrógeno-iones y los sodio-iones, pero si el vidrio del electrodo ha sido calibrado en soluciones que tengan igual concentración de sodio-ión que la solución que se ensaya, entonces este electrodo puede usarse para valores del *p*H hasta 13 y aún mayores. El electrodo de vidrio consiste en un diafragma extraordinariamente delgado que separa dos soluciones acuosas; una de ellas es la solución amortiguadora patrón de *p*H conocido y la otra es la solución a ensayar. Con este tipo de electrodo se presentan dos dificultades: la primera es debida a la gran resistencia eléctrica de la membrana de vidrio, que es de varios megohms, lo que ocasiona que el conjunto del dispositivo tenga una resistencia interna muy elevada y, por lo tanto, ello hace que su f.e.m. sea difícil de medir. Aislando el conductor de cobre que va al electrodo de vidrio y usando un amplificador de válvulas termiónicas, la débil corriente que circula a través de la célula de vidrio puede ser amplificada suficientemente para permitir la lectura de la f.e.m. en instrumentos de medida usuales, tales como milivoltímetros, o la indicación con aparatos registradores (figura 1). La segunda dificultad reside en el hecho que las dos superficies de la membrana no son exactamente iguales. Esta desigualdad es producida, quizá, durante el soplado del vidrio o puede ser ocasionada por la acción química de las soluciones a medir, especialmente si son de alto *p*H (11 a 14), o también si este es muy bajo (1 a 3). A esta diferencia de potencial adicional se la llama f.e.m. de asimetría. Un electrodo de vidrio, en general, posee inicialmente una pronunciada f.e.m. de asimetría, la cual decrece progresivamente con el uso. Si el electrodo se emplea para soluciones de *p*H muy distinto, esto puede ser causa de variaciones irregulares, pero cuando su uso se ciñe a soluciones de *p*H parecido, entonces aquellas variaciones son inapreciables durante un período de veinticuatro horas; además, la f.e.m. de asimetría permanece sensiblemente constante para todos los valores del *p*H. Ello permite equiparar directamente la f.e.m. de una célula de vidrio, medida directamente por medio de un voltímetro después de amplificada con válvulas termiónicas, con los valores de *p*H, para lo cual se pone en la célula de vidrio y en lugar de la solución a ensayar, una solución amortiguadora de *p*H conocido y ajustando entonces la escala del voltímetro de manera que su aguja marque el determinado valor del *p*H.

Cualquier célula usada para la determinación electrométrica del *p*H implica tener que interponer una solución saturada de cloruro potásico entre el electrodo de hidrógeno, o su substituto, y el electrodo patrón, que generalmente es el electrodo de calomelano « normal » o « saturado ». Debido a que el potasio-ión y el cloro-ión tienen aproximadamente la misma mobilidad iónica, se estima que tal solución debe eliminar, o al menos minimizar, la diferencia de potencial que se crearía en el punto de encuentro de ambas soluciones del electrodo. El uso de estas soluciones intermedias hace considerar a la « teoría de la actividad », de G. N. Lewis, como muy dudosa e incierta. Por lo tanto, los valores del *p*H obtenidos mediante tales células no pueden ser considerados como actividad de hidrógeno-ión, en el estricto sentido de la palabra. A veces, en el trabajo de laboratorio, hay quienes escojen potenciales patrón que han sido referidos a la f.e.m. de células *sin* líquido intermedio; esta manera de proceder es inconsistente. La mayoría de las soluciones amortiguadoras patrón han sido graduadas con el electrodo de hidrógeno conjuntamente con el de calomelano, el potencial del cual es referido al patrón arbitrario original, o sea al electrodo de hidrógeno, que es alimentado de hidrógeno a la presión normal, inmergido en una solución a la cual, fundándose en la teoría de Arrhenius, se la supone conteniendo 1 ión-gramo de hidrógeno-iones por litro.

El espacio de que disponemos no nos permite más que referirnos someramente a las distintas células usadas (*véase* p. 150).

Britton y Robinson hallaron que el valor de λ crece progresivamente desde + 0,263 voltio hasta 0,302 voltio cuando el *p*H pasa desde 1,81 a 11,94. Para pequeñas variaciones del *p*H, por ejemplo 3 unidades *p*H, el valor de λ se mantiene suficientemente constante para permitir que se pueda convertir el voltímetro en un instrumento de lectura directa del *p*H, después que la escala del *p*H ha sido ajustada una vez para siempre.

El verdadero valor de λ se determina por medio del grado de solubilidad que tiene el Sb_2O_3, existente en la superficie del electrodo, en la solución que se ensaya; esta solubilidad, que es muy

(1) *Hidrógeno:*	$\overset{+}{Hg}$	$Hg_2Cl_2 \cdot KCl$ (c)	KCl satdo.	Sol. ensay.	$\overset{-}{H}_{2Pt}$

$$\text{f.e.m.} = E_{Calomelano} + 0{,}0001984 \cdot T \cdot pH$$

(2) *Quinhidrona:*	$\overset{+}{Pt}$	Sol. ensay. + Quinhidrona	KCl satdo.	$KCl \cdot Hg_2Cl_2$ (c)	$\overset{-}{Hg}$

$$\text{f.e.m.} = 0{,}7175 - 0{,}00074 \cdot t^\circ - 0{,}0001984 \cdot T \cdot pH - E_{Calomelano}$$

(t° = ° Centígrado, T = ° absoluto)

(3) *Antimonio:*	$\overset{+}{Hg}$	$Hg_2Cl_2 \cdot KCl$ (c)	KCl satdo.	Sol. ensay. Sb_2O_3	$\overset{-}{Sb}$

$$\text{f.e.m.} = E_{Calomelano} - \lambda + 0{,}0001984 \cdot T \cdot pH$$

(4) *Vidrio*	Sol. de *p*H $\overset{+}{\text{conocido}}$ (pH_K)	Membrana de vidrio delgado	Sol. $\overset{-}{\text{ensay.}}$ (pH_T)

(I) Hg | $Hg_2Cl_2 \cdot \underline{N}KCl$ | KCl satdo. | Sol. de pH_K conoc.	| Vidrio | Sol. ensay. *p*H | KCl satdo. | $\underline{N} \cdot KCl \cdot Hg_2Cl_2$ | Hg
(II) Hg | $Hg_2Cl_2 \cdot 0{\cdot}1\underline{N} \cdot HCl$	| Vidrio | Sol. ensay. *p*H | KCl satdo. | $\underline{N} \cdot KCl \cdot Hg_2Cl_2$ | Hg
(III) Ag | $AgCl \cdot 0{\cdot}1N \cdot HCl$	| Vidrio | Sol. ensay. *p*H | KCl satdo. | $\underline{N} \cdot HCl \cdot Hg_2Cl_2$ | Hg
(IV) Pt | Quinhidrona: 0·1N·HCl	| Vidrio | Sol. ensay. *p*H | KCl satdo. | $\underline{N} \cdot KCl \cdot Hg_2Cl_2$ | Hg

pequeña, depende del tamaño, edad y tratamiento de la capa de óxido. Por lo tanto, tal como hemos indicado anteriormente, es preciso contrastar a menudo el electrodo.

La polaridad de la célula se manifiesta cuando $pH_T > pH_K$, de donde f.e.m. = 0,0001984. T. ($pH_T - pH_K$) + $E_{Asimetría}$. Por desgracia, la f.e.m. entre dos soluciones no puede medirse directamente y por la tanto, el contacto eléctrico con las dos soluciones se logra mediante electrodos de potencial fijo. En la combinación (1) los dos electrodos de calomelano se oponen por igual mútuamente, mientras que en (II), (III) y (IV) los electrodos de la izquierda establecen potenciales constantes tanto para el terminal metálico del electrodo como para la cara izquierda de la membrana de vidrio. La f.e.m. del dispositivo de una célula de vidrio es igual a la f.e.m. que se obtiene por medio de la expresión anterior, más una f.e.m. de valor fijo, igual a la diferencia entre los potenciales de los dos electrodos terminales auxiliares (= E_{Fija}). De donde:

$$\text{f.e.m.} = E_{Fija} + E_{Asimetría} \pm 0{,}0001984 \cdot T \cdot (pH_T - pH_K)$$

APLICACIONES

Los hidróxidos metálicos, o más generalmente las sales básicas, son precipitados, cada uno dentro de reducidos límites del *p*H, característicos para cada hidróxido (*véase* Tabla de valores). El grado de concentración de la sal metálica en la solución de la que se obtiene el precipitado, tiene un pequeño efecto sobre el *p*H de precipitación. Los aniones tienen poca influencia, excepto para el caso del mercurio bivalente y el cadmio. Los carbonatos básicos, cromatos, boratos, etc., precipitan en el punto del *p*H del respectivo hidróxido metálico cuando las respectivas soluciones de la

VALORES DEL *p*H DE PRECIPITACION DEL HIDROXIDO EN SOLUCIONES DILUIDAS

$Mg^{\cdot\cdot}$	*p*H 10,5	$Be^{\cdot\cdot}$	*p*H 5,7
$Mn^{\cdot\cdot}$	8,5 a 8,8	$Fe^{\cdot\cdot}$	5,5
$La^{\cdot\cdot\cdot}$	8,4	$Cu^{\cdot\cdot}$	5,3
$Ag^{\cdot}$	7,5 a 8,0	$Cr^{\cdot\cdot\cdot}$	5,3
$Ce^{\cdot\cdot\cdot}$	7,4	UO_2	4,2
$HgCl_2$	7,3	$Al^{\cdot\cdot\cdot}$	4,1
$Pr^{\cdot\cdot\cdot}$	7,1	Hg_2	3
$Nd^{\cdot\cdot\cdot}$	7,0	$Th^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	3,5
$Zn^{\cdot\cdot}$	7,0	$In^{\cdot\cdot\cdot}$	3,4
$Sa^{\cdot\cdot\cdot}$	6,8	$Ce^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	2,7
$Co^{\cdot\cdot}$	6,8	$Hg(NO_3)_2$	2
$Y^{\cdot\cdot}$	6,8	$Sn^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	2
$CdSO_4$	6,7	$Sn^{\cdot\cdot}$	2
$Ni^{\cdot\cdot}$	6,7	$Zr^{\cdot\cdot\cdot\cdot}$	2
$Pb^{\cdot\cdot}$	6,0	$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	2

sal metálica son tratadas con sales alcalinas del correspondiente ácido débil. Para precipitar carbonatos y cromatos neutros de metales pesados ha de satisfacerse en el líquido madre la condición de solubilidad requerida teniendo su *p*H un valor inferior al del « *p*H del hidróxido », pues sinó se obtendría una sal básica.

El hecho que los hidróxidos metálicos precipiten para valores definidos del *p*H permite su separación, ya por medio de la adición de un álcali y manteniendo control del *p*H por medida directa, o ya añadiendo a la solución un amortiguador

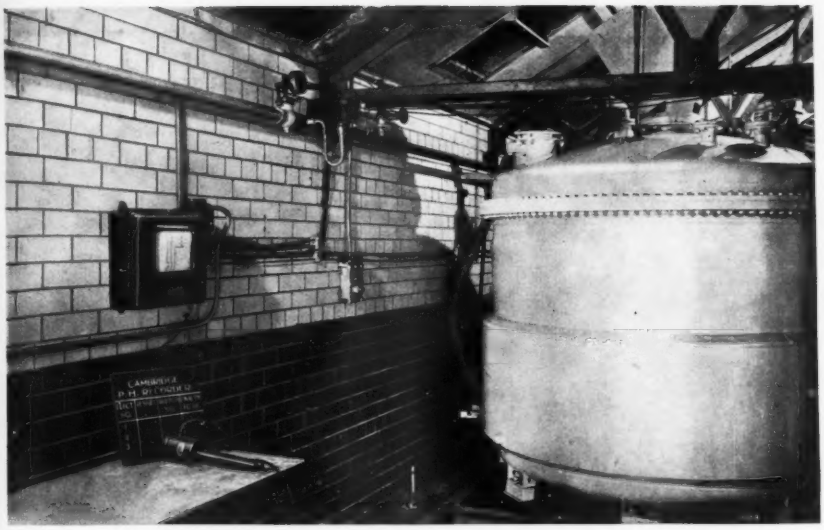


FIGURA 1 – *Registrador automático de pH (Cambridge), montado en cisternas usadas en la fabricación de productos químicos de precisión. Los electrodos, del tipo sumersión (figura 2), se ven a la izquierda.*
(Por cortesía de la Cambridge Instrument Company Limited.)

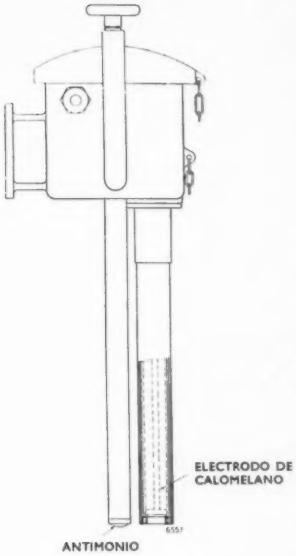


FIGURA 2 – *Electrodos tipo sumersión (Cambridge) destinados especialmente para la industria. Un miembro consiste en un tubo aislado llevando un tapón de antimonio; el otro lleva un electrodo de calomelano.*
(Por cortesía de la Cambridge Instrument Company Limited.)

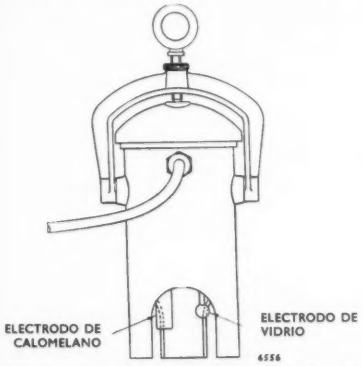


FIGURA 3 – *Sistema sumergible de electrodos (Cambridge). Los electrodos están contenidos en un recipiente cilíndrico de metal encauchado, con aberturas para dejar pasar el líquido. Los electrodos pueden ser vidrio-calomelano o antimonio-calomelano.*
(Por cortesía de la Cambridge Instrument Company Limited.)

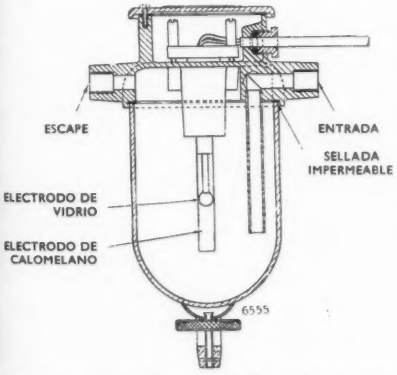
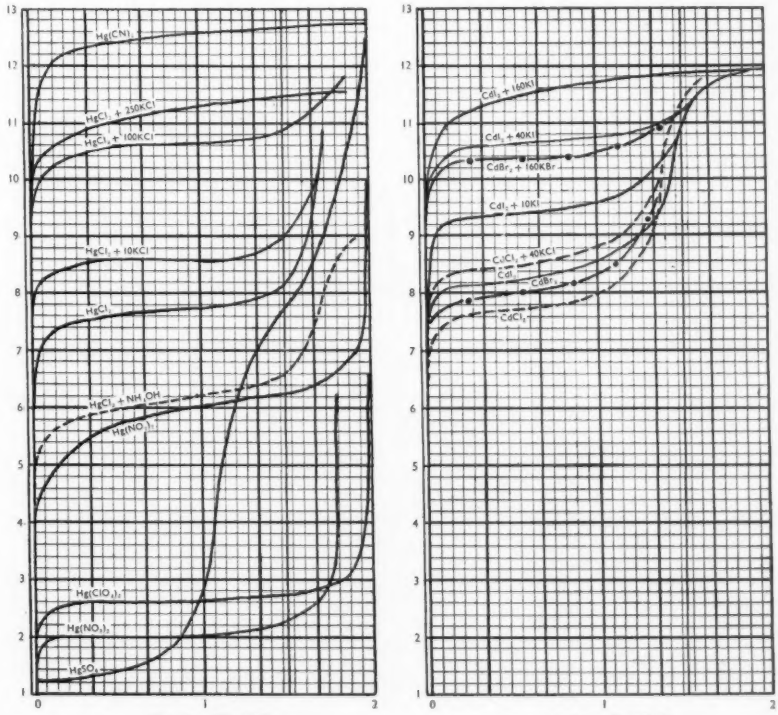


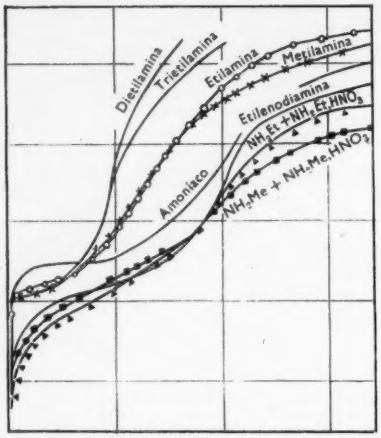
FIGURA 4 – *Sistema de electrodos de flujo continuo (Cambridge), montado directamente en la tubería. Los electrodos pueden ser vidrio-calomelano o antimonio-calomelano.*
(Por cortesía de la Cambridge Instrument Company Limited.)



Britton y Wilson, *J. chem. Soc.*, 1932, 2550; 1933, 601.

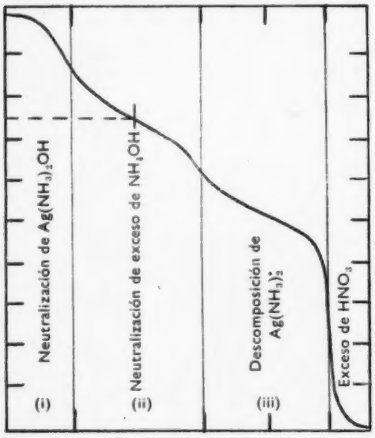
Moeller y Rhymer, *J. phys. Chem.*, 1942, **46**, 477.

FIGURA 5 – *Curvas pH ilustrando la precipitación para soluciones de óxido mercúrico y de hidróxido de cadmio.*



Britton y Wilson, *J. chem. Soc.*, 1933, 1050;
Britton y Williams, *ibid.*, 1936, 96.

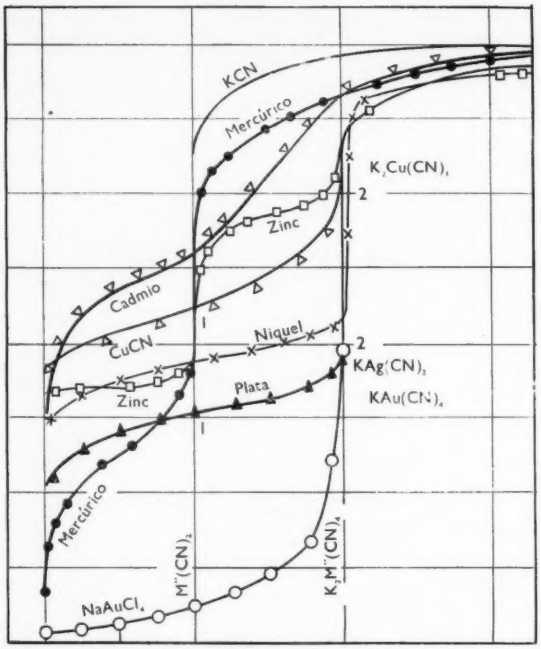
FIGURA 6 – *Cambios de* p*H al añadir progresivamente* NH_4OH *o varias aminas a una solución de nitrato de plata, mostrando la formación de sales complejas:*
$Ag(NH_3)_2NO_3$, $Ag(CH_3NH_2)_2NO_3$; $Ag(C_2H_5NH_2)_2NO_3$; $AgC_2H_4(NH_2)_2NO_3$.



Britton y Wilson, *J. chem. Soc.*, 1933, 1050;
Britton y Williams, *ibid.*, 1935, 796.

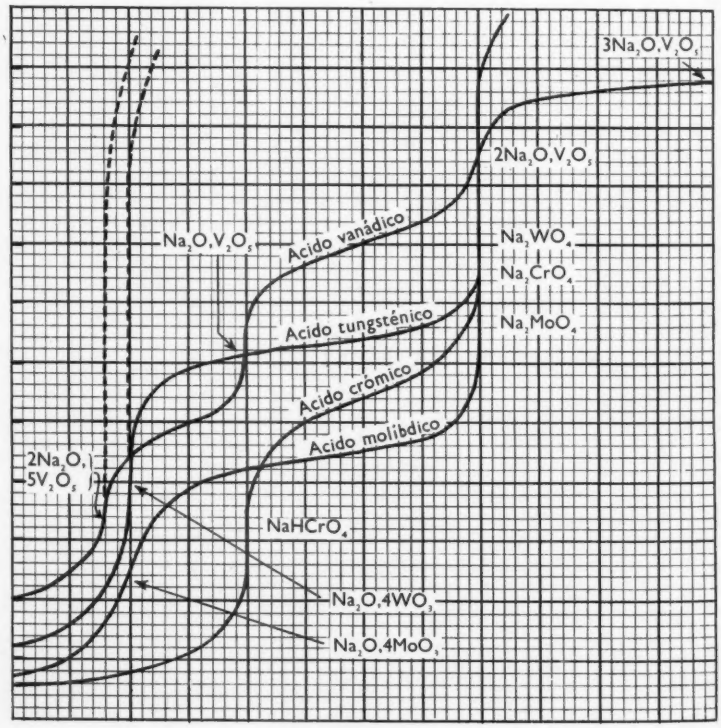
FIGURA 7 – *Curva de neutralización de* p*H para una solución de óxido de plata, mostrando tres zonas separadas representadas por las ecuaciones:*

(I) $Ag(NH_3)_2OH + HNO_3 \rightarrow Ag(NH_3)_2NO_3$.
(II) $NH_4OH + HNO_3 \rightarrow NH_4NO_3$.
(III) $Ag(NH_3)_2NO_3 + 2HNO_3 \rightarrow AgNO_3 + 2NH_4NO_3$.



Britton y Dodd, *J. chem. Soc.*, 1932, 1940; *ibid.*, 1935, 100.

FIGURA 8 – *Curvas de* p*H ilustrando la formación de cianuros complejos. (La curva marcada* KCN *de los valores de* p*H que se hubiera obtenido en el caso de formación de cianuros de los metales solamente.)*



Britton, *J. chem. Soc.*, 1924, **125**, 1572; Britton y Welford, *ibid.*, 1940, 764; Britton y Bevan, no publio.

FIGURA 9 – *(derecha) Curvas de neutralización de* p*H mostrando (1) que el ácido crómico es un ácido dibásico normal; (2) los ácidos molíbdico, tungsténico y vanádico son anormales.*

que, al introducir el álcali, impida alcanzar el valor del « *p*H del hidróxido » y así se evita la precipitación de tal hidróxido.

En la figura 5 se ven algunas curvas del *p*H de precipitación para el óxido mercúrico y para el hidróxido de cadmio; la parte horizontal previa al punto de inflexión corresponde al *p*H durante el proceso de precipitación. El óxido mercúrico es una base muy débil y el sulfato, nitrato y perclorato están muy hidrolizados e ionizados. La consecuencia de esto es que el óxido mercúrico se precipita para un *p*H inferior a 3. El nitrito, el acetato, el cloruro, el bromuro y el cianuro mercúricos son, sin embargo, casi no hidrolizados y su solución está prácticamente no ionizada. Esto repercute en el *p*H del punto correspondiente al precipitado producido por un álcali, que, por ejemplo, para el cloruro está comprendido entre 7 y 8, y para el cianuro sólo lo es en soluciones de elevada alcalinidad. Por cierto que estas sales en presencia de las correspondientes sales potásicas dan lugar a sales complejas del tipo K_2HgR_4. Las curvas marcadas 10, 100 y 250 KCl muestran el efecto que tienen tales cantidades adicionales de KCl, añadidas al cloruro mercúrico, sobre el *p*H de precipitación. Con el uso de mayores cantidades puede llegarse a evitar completamente la precipitación. Esto explica porqué el óxido mercúrico es soluble en soluciones de cloruro, bromuro o yoduro potásico, dejando libre una cantidad equivalente de álcali, así:

$$H_2O + HgO + 4KI \rightarrow K_2HgI_4 + 2KOH$$

La parte derecha de la figura 5 muestra como con el cloruro, bromuro o yoduro de cadmio se obtienen efectos semejantes.

La línea interrumpida de la izquierda de la figura 5 corresponde al cloruro mercúrico al que se ha añadido amoníaco. La precipitación ocurre para *p*H 6, que es inferior al valor de cuando se añade un álcali. Ambos precipitados son principalmente de $3HgO,HgCl_2$, pero el precipitado amoniacal contiene además: $3HgO,HgCl_2,2NH_3$. Estos precipitados blancos amoniacales corresponden a la expresión general $xHgO,HgCl_2,2NH_3$ y son sales básicas relacionadas con el « precipitado blanco fusible », $HgCl_2,2NH_3$, el cual se precipita cuando se añade amoníaco a una solución conteniendo cloruro mercúrico y una gran cantidad de cloruro amónico, en que este último tiende a impedir la ionización del precipitante y, al mismo tiempo, formar $(NH_4)_2HgCl_4$, con lo que sólo el compuesto mixto insoluble es precipitado.

La figura 6 muestra la formación de sales complejas de plata cuando el amoníaco se añade progresivamente al nitrato de plata; la adición de nitrato de la base libre a la solución tiende a reducir la ionización de la base que se añade. La inflexión de muchas de las curvas cuando se añaden 2 equivalentes de base, (B), demuestra que se han formado sales del tipo $Ag(B_2)NO_3$. Estas sales son de bases fuertes, $AgB_2OH \rightleftharpoons AgB_2^{\cdot} + OH'$; esto puede demostrarse por análisis volumétrico con solución de ácido nítrico de bases orgánicas en las que se ha disuelto óxido de plata. En la figura 7 se ve la curva del *p*H correspondiente a este tipo de valoración y cuya sección inicial representativa de la neutralización de $Ag(NH_3)_2OH$ muestra que tal base es de fuerza comparable a la de un álcali.

La formación de compuestos de cianuro es indicada por varias de las curvas de la figura 8, las cuales se refieren a cuando se añade cianuro potásico a soluciones de sales metálicas, excepto la curva indicada por CuCN, la cual se refiere a la suspensión de cianuro cuproso. Las inflexiones finales muestran que se ha formado $KAu(CN)_4$, $KAg(CN)_2$, $K_2Cu(CN)_3$, $K_2Ni(CN)_4$ y $K_2Zn(CN)_4$.

Las curvas de neutralización de ácidos de la figura 9 muestran que: (1), el ácido crómico es un ácido dibásico normal, y la primera inflexión corresponde a la formación de $NaHCrO_4$ (y no de $Na_2Cr_2O_7$) y la segunda a la formación de Na_2CrO_4; (2) los ácidos tungsténico y molíbdico son anormales en tanto que sus primeros puntos correspondientes a la neutralización de ácidos fuertes termina con 0,5 de equivalente ácido, o lo que es lo mismo, cuando se han formado $Na_2O,(MoO_3)_4$ y $Na_2O,(WO_3)_4$ respectivamente. La línea de trazos muestra el efecto inmediato del álcali sobre el tetratungstato, el cual se descompone sólo después de prolongado reposo o si se hierve después de cada sucesiva adición de álcali, pasando entonces a Na_2WO_4 como se ve por la curva. El tetramolibdato se convierte inmediatamente en Na_2MoO_4 por la adición de álcali; (3) el ácido vanádico es inicialmente normal. La neutralización de su fase de ácido fuerte se termina con la formación de $2Na_2O$, $5V_2O_5$, cuya sal, aún añadiendo más álcali, no se descompone fácilmente (de ahí la línea interrumpida de la figura 9), sinó que lo hace muy despacio en reposo, o, algo más rápidamente, por medio de ebullición, en que su *p*H se puede apreciar por la curva de neutralización, y entonces el ácido resulta comparable al ácido fosfórico, formando las sales Na_2O,V_2O_5, ó NaH_2VO_4 y $2Na_2O,V_2O_5$ o Na_2HVO_4.

Los orígenes chinos de la alquimia

TENNEY L. DAVIS

Suele afirmarse que la alquimia es el padre de la química, pero en realidad, la alquimia, ese empeño para hallar el elixir de la vida, y la piedra filosofal, presupone una gran acumulación de conocimientos químicos. El profesor Davis trata de la alquimia primitiva de los Chinos, y sugiere la idea de que los adeptos occidentales recibieran mucha de su afición a la materia de la China, por vía de la India y del Islam.

Los orígenes de la química son tan remotos, que es imposible fijarles fecha. Yacen en aquellos tiempos que precedieron a la edad de la fábula y de la mitología, en esa vaga y luenga edad cuando aún no habían aparecido los gigantes y los héroes legendarios, y los dioses paganos todavía no habían descubierto sus correspondientes rangos y deberes. Los químicos practicaban ya su arte antes de que el poderoso dios Thor recibiera su martillo, o arrojara su primer rayo. Tubalcaín, siete generaciones después de Adán, fué químico, así como lo fué también su parecido greco-romano, Hefaistos–Vulcano, que atizaba la lumbre de su fragua a la sombra de Etna. Para nuestro propósito basta notar que no se le puede fijar una fecha ni a Tubalcaín, ni a los enanos que trabajaron para Thor, y nos basta creer que estos primitivos químicos, observando los cambios que ocurrían en sus procesos, tenían sin duda sus teorías, teorías químicas sobre las causas de esos cambios.

El caso de la alquimia es diferente. La palabra « alquimia » significa, según entendemos, la búsqueda, o el esfuerzo para hallar, por medios químicos, la manera de preparar una medicina de longevidad o de inmortalidad, o la manera de obtener metales nobles auténticos, del metal común. La palabra alquimia se aplica sin distinción, a ambos procesos, obténgase éxito o no. De lo dicho resulta que la alquimia no es tan antigua como la química, y que la alquimia tuvo su orígen después del desarrollo de los medios químicos sobre los cuales fué basada. Es evidente también, que surgió en una época en que la química había ya logrado tantas maravillas, que los propósitos de los alquimistas no se presentaban como demasiado inasequibles.

La primera presentación de la alquimia tuvo lugar en condiciones que demostraban claramente su relación a la magía. Era menester oro, debido a la cualidad que se le atribuía, de conferir la inmortalidad a quien lo comía, o a los que comían de vajilla hecha del precioso metal, y a la química se le exigía su producción. La química se volvía alquimia, cuando servía a este fin, y la teoría química invocada para explicar el arte del orfebre, acabó por ser la teoría de la alquimia.

El primer caso indudable de alquimia que se conoce, viene mencionado en el *Shih Chi* [Memorias Históricas], obra comenzada por Ssŭ-Ma T'an, y completada por su hijo, Ssŭ-Ma Ch'ien (145–87 A.J.), que le sucedió como astrólogo mayor y gran analista de la corte China. Esta obra trata de la historia de la China desde sus primeros tiempos hasta el año 122 A.J. El capítulo XXVII nos cuenta de Li Shao Chün, mago y alquimista en la corte del Emperador Han, Wu Ti (156–87 A.J.), durante la vida del historiador mismo, el cual

> siempre afirmaba que tenía 70 años de edad, que poseía el dominio sobre materias espirituales, y que podía salvarse de la vejez. . . . Viajaba por todas partes para que las noticias de sus hazañas llegase a los oídos de la nobleza. . . . Sobresalía en el arte de mostrarse sagaz, y en el relato de cosas tan asombrosas como verídicas.

Proclamaba su poder como sigue:

> « Yo se como el cinabrio cambia su naturaleza y se vuelve oro gualdo. Yo puedo frenar el dragón volante y visitar las extremidades de la tierra. Yo puedo montar a la grulla encanecida y remontarme más allá de los nueve grados del cielo.»

Le ofreció instrucción al Emperador:

> « Si le haceis un sacrificio al horno, podreis transmutir el cinabrio a oro. Cuando habrá sido producido el oro, podreis hacer con él vajilla para comer y para beber. Al usarla, vuestra vida se prolongará, de manera que podrais ver los benditos inmortales de la isla de P'êng-lai que se encuentra en medio del océano. Cuando los habreis visto y habreis hecho el justo sacrificio al alto cielo y a la ancha tierra, nunca morirás.»

El *Shih Chi* escribe además que:

> fué después de este discurso que el Hijo del Cielo

ejecutó por primera vez, en persona, el sacrificio del horno. . . . Él mismo se ocupó experimentando con cinabrio en polvo, y con toda suerte de drogas, para poder obtener oro.

Un caso anterior, probablemente de alquimia, aunque no tan bien comprobado, descrito en el capítulo VI del *Shih Chi*, cuenta de las tres islas sobrenaturales situadas en medio del Mar del Este, P'êng-lai, Fang-chung, y Ying-chou: « Es aquí donde pueden ser hallados los inmortales, y las drogas que previenen de la muerte ». El Emperador Ch'in, Shih Huang Ti (259–210 A.J., Rey de Ch'in desde 246 A.J., Emperador de la China desde 221 A.J.), el mismo que estableció una nueva dinastía, erigió la Gran Muralla, e introdujo el lápiz o pincel de pelo para escribir sobre la seda en vez de sobre las tabletas de bambú, se interesó de lo que oía sobre las drogas que prevenían de la muerte. Los magos, Lu Shêng y Hsü Shih, o Hsü Fu, lo influenciaron para que organizase una primorosa expedición naval con el objeto de buscar dichas drogas:

y Hsü Shih y sus compañeros sometieron el siguiente pedido: « Suplicamos que se nos permita, después de habernos purificado, partir con una compañía de jóvenes y niñas, en busca de estas islas ». . . . El Emperador quedó muy agradecido. Y le dió a Hsü Shih semillas de los cinco granos, y lo despachó a hacer su viaje con tres mil jóvenes de ambos sexos, y obreros para toda clase de trabajo. Hsü se puso en viaje, y descubrió una localidad famosa por la paz que allí reinaba, y por su fertilidad. Allí se quedó, lo hicieron rey, y nunca volvió.

El Emperador no dejó de esperar el retorno de la expedición:

Tenía la costumbre de pasearse a lo largo de la playa del mar, con la esperanza de poder, de alguna manera, obtener esa maravillosa droga de las tres islas sagradas en medio del mar, pero nunca la obtuvo. Y volvió a Sha Ch'iu, donde murió.

La expedición de Hsü Shih salió en el año 219 A.J., y, según se cree actualmente, fué al Japón, donde estableció una colonia cerca de la ciudad de Shingu de nuestros días, situada cerca de la punta meridional de la isla principal del Japón. La sepultura de Hsü Shih (Joshi o Jofuku, según los Japoneses) existe aún en ese lugar, y hoy, como siempre, es objeto de la veneración de los peregrinos. Hsü Shih tiene fama de alquimista, pero no se ha podido establecer definitivamente que la medicina que él buscaba exigía una preparación química y que él era un trabajador en procesos químicos.

Liu An o Huai-nan-tzŭ (fallecido 122 A.J.) era el nieto del primer Emperador Han, Kao Ti, y fué creado Príncipe de Huai-nan. Fué un famoso Taoista y se supone que tenía gran afición al estudio de la alquimia y a la búsqueda de la píldora de la inmortalidad, y se le atribuyen varios tratados sobre estos temas. Wei Po-yang, « el padre de la alquimia », lo menciona dos veces en el *Ts'an T'ung Ch'i* (obra escrita más o menos A.D. 142), y Ko Hung (A.D. 281–361), en su capítulo sobre el Amarillo y el Blanco, el décimo sexto de los Capítulos Interiores de Pao-p'u-tzŭ, menciona una obra de Huai-nan-tzŭ, que no se sabe ahora si existe, el *Chên Chung Hung Pao* [El Gran Tesoro en la Caja de las Almohadas], y relata una historia en él contenido, sobre una transmutación que tuvo buenos resultados. La única escritura existente que lleva su nombre, es el *Hung lieh* [Gran Luz, o sea *Tao*], una colección de veintiun ensayos, escritos probablemente por los ocho famosos eruditos que atrajo a su corte, o bien escritos en colaboración con ellos, y editados por Huai-nan-tzŭ mismo. Es un tratado sobre cosmogonía y ética, sobre problemas sociales, sobre el puesto del hombre en la naturaleza, y la vida llena. No contiene alquimia alguna, pero plantea la doctrina dualística de *Yin-Yang*, que proporcionó una base para la teoría China de la alquimia, una teoría alquímica que fué anterior a la europea, aunque idéntica en todo respecto importante.

La inclusión de Liu An en el *Lieh Hsien Ch'üan chuan* [Biografías Completas de los Inmortales] es un ejemplo de la tradición que lo califica de alquimista, pues cuenta cómo preparaba la medicina por medios químicos, asegurándose la inmortalidad, y ascendiendo directamente a los cielos al usarla. En realidad, lo que ocurrió, según se cuenta, fué que se embrolló en ciertas intrigas políticas, y luego desterrado; otra versión dice que se suicidó. Los ocho hombres doctos que colaboraran con él en sus estudios se representan en el *Lieh Hsien Ch'üan chuan*, como ocho *hsien* (inmortales sobrenaturales), que vinieron a su corte para darle instrucción acerca del *Tao*. Uno de ellos, el último de los que hablan en el extracto que sigue, está claro que era químico:

« Hemos oído que Su Alteza ama el *Tao*. Por eso hemos venido a su corte. Pero no conocemos los deseos de Su Alteza.

« Uno de entre nosotros puede causar vientos y lluvias con sólo sentarse, puede levantar nubes y niebla con sólo ponerse de pié, puede crear ríos y lagos con dibujar en el suelo, y puede elevar montañas con hacer montículos de arena.

« Uno de nosotros puede desmenuzar las alturas y llenar los hondos, puede manejar el tigre y el leopardo, puede cazar el dragón y la serpiente, y puede enseñorarse sobre los dioses y las fantasmas.

« Uno de nosotros puede separarse de su forma y cambiar su apariencia, puede causar vida al sentarse, y muerte con ponerse de pié, puede ocultar a la vista todo un ejército, y puede tornar la luz del mediodía a la oscuridad.

« Uno de nosotros puede cabalgar en el espacio, y caminar sobre el vacío, puede entrar al mar y en las honduras, puede entrar y salir a través de cualquier tabique, y puede respirar un aliento de mil millas.

« Uno de nosotros puede meterse en el fuego sin ser abrasado, y en el agua sin mojarse, puede ser apuñalado sin lastimarse, se puede tirar sobre él con una flecha, pero nunca lo alcanzará, nunca tiene frío en agua helada, ni suda en el verano.

« Uno de nosotros puede efectuar mil cambios a gusto, puede hacer aparecer aves y bestias, hierbas malas y bosques en un momento. Puede mover montañas, alturas y ríos.

« Uno de nosotros puede impedir estragos, librar de peligros, dispersar males, y deshacerse de cosas dañinas. Él puede causar longevidad.

« Uno de nosotros hace hervir el barro para obtener oro, puede ensayar el plomo para obtener plata, y tratar las ocho piedras para que dén perlas. Él puede montar al dragón y enjaezar a las nubes para viajar flotando sobre la Inmensa Claridad.

« ¿Qué es lo que desea su Alteza? »

Liu An les hizo reverencias a los ocho *hsien*. Les ofreció, con sus propias manos, vinos y frutas. Uno tras otro, los *hsien* dieron sus pruebas, y confirmaron sus habilidades. Le dieron el Libro de la Medicina, el Treinta-Seis, y las recetas de mercurio. La medicina fue confeccionada, pero no tomada.

Ahora bien, Liu An tenía un hijo, llamado Ch'ien, que amaba la esgrima. Un día mientras Ch'ien esgrimía con un oficial, recibió una herida. El oficial, temiendo ser castigado, le escribió al Emperador alegando que Liu An estaba conspirando contra su autoridad, y su Alteza envió a Tsung Chêng para que lo trajera a la justicia.

Los ocho *hsien* le dijeron a Liu An: « Es necesario que vayas ahora. Este mensajero viene enviado por el cielo para que vayas. Vé sin cuidado ». Liu An partió con ellos hacia la montaña. Allí hicieron una gran ofrenda ceremoniosa, y enterraron el oro en la tierra. Luego se elevaron al cielo en la plena luz del día.

Las piedras que pisaron Liu An y los ocho *hsien* quedaron marcadas. Aún hoy llevan las huellas de hombres y de caballos. Los pollos que picotean los *tings* [ollas de horno, incensarios trípodes] usados para preparar la medicina, y los perros que los lamen, adquieren liviandad. Los pollos cacarean y los perros ladran al cielo.

La doctrina dualística de *Yin-Yang* apareció en la China durante el tercer siglo A.J., y desde aquellos tiempos hasta la actualidad, domina gran parte del pensamiento chino en materias filosóficas y científicas. Existían ya doctrinas parecidas en otras partes, notablemente en la India y en Mesopotamia, y es posible que estas fueron introducidas a la China. Es interesante, en todo caso, hallar que la doctrina aparece ya elaborada, y provista de un simbolismo extenso y fantástico en el momento cuando ocurre por primera vez en relaciones con la alquimia, en el tratado más temprano que se conoce en cualquier idioma, dedicada exclusivamente a la materia.

El primer tratado que se conoce sobre la alquimia es el *Ts'an T'ung Ch'i* [Analogía del Trio] de Wei Po-yang. Y ha sido conservado para nosotros, como parte del canon Taoista. Su autor, de quien poco se sabe, era nativo de Wu en la actual provincia de Kiangsu. En el año 121 de la Era Cristiana, lo llamaron a la corte, pero rehusó la invitación porque no era admirador de la burocracia. Existe un informe sobre este escritor, en el *Lieh Hsien Ch'üan chuan* que contiene elementos óbviamente míticos. Y en el Epílogo del *Ts'an T'ung*, él mismo se describe como « un hombre humilde del país de Kuai, que no ama el poder mundano, ni gloria, ni fama, ni ganancias, que gasta sus días llevando una vida sencilla, tranquila, despaciosa y pacífica, en el refugio de un valle poco frecuentado ».

La ciencia primitiva miraba todas las cosas como procedentes de la combinación o interacción de Dos Principios Contrarios, uno de los cuales poseía todas las cualidades positivas, activo, cálido, seco, liviano y espiritual; el otro, todas las cualidades negativas, pasivo, frío, mojado, pesado y material. Puesto que era difícil describir precisamente a los contrarios, fueron designados por nombres que poseían amplias connotaciones, se los asociaba con deidades, Osiris e Isis, Baal (o Bel) y Astarte (Ashtaroth o Ishtar), Shiva y Parvati, y con los dos poderes reguladores del universo, uno de ellos, *Yang*, el principio de la actividad, y *Yin*, el principio del material sobre el cual se actúa. Fueron designados por nombres que deben tomarse como símbolos que significan todas las cualidades que cada uno de ellos poseía. En Europa así como en la China, eran el Sol y la Luna, el Hombre y la Mujer, el Fuego y el Agua, lo Caliente y lo Frío, lo Volátil y lo Fijo. Para los químicos Alejandrinos, y para los químicos y alquimistas de más tarde en Europa, los metales eran combinaciones de los principios

FIGURA 1 – *Liu An, Príncipe de Huai-nan.*

Liu An y uno de los *hsien* que le enseñó el arte. El perro y el gallo, habiendo lamido y picoteado, respectivamente, las vasijas en las cuales fué fabricada la medicina, ascienden también al cielo.

(*Reproducida del* Lieh Hsien Ch'üan chuan [*Biografías completas de los Inmortales*].)

FIGURA 2 – *La preparación de la píldora de la inmortalidad, según Shang-yang-tzu.*

El principio del *Yang* está representado por el hombre, el dragón y el fuego; el principio del *Yin* por la mujer, el tigre, y el agua en forma de nubes, lluvia y granizo. La tortuga y la serpiente simbolizan la incorporación material de los elementos del *Yang* y del *Yin*, además de la combinación de los Dos Contrarios.

(*Reproducida de la edición Ming del* Chin Tan Ta Yao [*Las Esenciales de la Medicina de Oro*], *escrita por Shang-yang-tzu, conocido también por el nombre Ch'ên Kuan-wu, durante el reino Chih-shun de la dinastía Yuan* (1330–33).

positivos del Azufre con los principios negativos del Mercurio, siendo el oro la perfecta combinación de los dos, y siendo los principios haces de cualidades, no confundidos con el azufre amarillo y el mercurio líquido. Para los alquimistas chinos, el positivo *Yang* era el plomo (en vez del Azufre), el Dragón, y el Cuervo Dorado; el *Yin* era el Mercurio, el Tigre, el Conejo de Jade, y así por el estilo. Esos mismos Dos Contrarios eran conocidos también bajo los nombres Phlogiston y Calx, por los químicos del siglo XVIII.

El *Ts'an T'ung Ch'i*, al describir la manera de preparar la píldora de la inmortalidad, dice que se calentaban juntos los Dos Principios en una vasija tapada de manera que no se escapasen los vapores, al principio a fuego lento y más tarde con todo el calor. Wei Po-yang describe la vasija herméticamente cerrada que fué llamada más tarde « El Huevo del Filósofo », por los alquimistas europeos, de la manera siguiente:

> Por los costados está el sitio rodeado de paredes, formado como un pote *p'eng-hu*. Cerrado por todos lados, con el interior compuesto de laberintos intercomunicados. La protección es tan completa que

FIGURA 3 – *La Combinación de los Dos Principios para la Producción de la Piedra Filosofal.*

El intento de esta figura es notablemente semejante al de la figura precedente (figura 2). El Principio del Azufre está representado por el Sol, por el Rey y por el Fuego; el Principio del Mercurio, por la Luna, la Reina, y por el Agua. [Nótese que las nubes encima de la Reina no son tan radiantes como las que están encima del Rey.]

FIGURA 4 – *El laboratorio de un alquimista, según Basilio Valentine.*

Evidentemente destinado a la combinación de los Dos Principios Contrarios.

(Reproducida de un grabado en madera de la tercera edición alemana (Hamburgo, 1700) de la colección de escritos químicos de Basilio Valentine.)

rechaza todo lo diabólico y pernicioso, y los meandros de los pasillos previenen contra posibles emergencias.

Los pasillos tortuosos sirven de condensadores reflexivos para la vuelta de material volátil. Y los Principios mismos se indican por nombres alegóricos.

Para que no haya sido escrito en vano el Tratado sobre el Fuego, lo explicaré aquí en lenguage sencillo. La forma del horno y del pote, es como si fuese la luna acostada de espaldas. En él se calienta el Tigre Blanco. Mercurio Sol es la perla fluente y con ella está el Dragón Azul. El este y el oeste se funden entre sí, de manera que el *hun* y *p'o* se gobiernan entre sí. . . . El Pájaro Rojo es el espíritu del fuego y reparte victorias o derrotas con justicia. Con la ascensión del agua llega el vencimiento del fuego.

El proceso mismo:

El tratamiento y la mezcla resultarán en una combinación y a la entrada rápida a la portada escarlata. Es necesario que el escape esté firmemente cerrado. Debajo juega la deslumbradora llama, mientras que el Dragón y el Tigre no cesan

de vociferar. Al principio la llama debe ser débil, para que se pueda manejar, pero debe ser fuerte hacia el fin. Es preciso poner atención y velar cuidadosamente para poder arreglar debidamente el calor y el frío. . . . El color cambia a púrpura. ¡Vedlo allí! se ha obtenido la Medicina Devuelta. Luego con esto se confeccionan las píldoras. Estas son extraordinariamente eficaces, aunque su tamaño individual es tan pequeño que ocupan solamente la punta de un cuchillo, o la orilla de una espátula.

Wei Po-yang describe la apariencia de los materiales en un lenguaje que demuestra que había observado el fenómeno químico, y que le había impresionado profundamente. No cabe duda de que el párrafo siguiente es la descripción de una violenta reacción acompañada de cambios de color, y la producción de un sublimado:

Arriba tienen lugar el cocimiento y la destilación dentro de la caldera; debajo, las llamaradas de la hoguera. Delante va el Tigre Blanco, mostrando el camino; detrás viene el Dragón Gris. El aleteo del Pájaro Escarlata muestra los cinco colores. Preso en las redes que halló por el camino, yace inmóvil y aplastado, llorando patéticamente, como llora el niño por su madre. Quiera o no quiera lo meten en la caldera llena de flúido caliente, sin cuidar del detrimento a su plumaje. Antes de transcurrir la mitad del tiempo, aparecen, con mucha rapidez, y en gran número, los Dragones. Los cinco colores deslumbrantes cambian sin cesar. El líquido hierve con turbulencia en el horno. Una tras otra aparecen para formarse en filas, irregulares cual dientes de perro. Esputan horizontal y verticalmente, estalagmitas que se parecen a carámbanos invernales. Aparecen eminencias rocallosas sin aparente regularidad, soportándose entre sí. Cuando *Yin* y *Yang* están debidamente apareados, prevalece la tranquilidad.

Es difícil el dudar de la continuidad del pensamiento alquímico cuando hallamos una descripción del mismo proceso en el *Speculum alchemiae* atribuído a Roger Bacon, en un tratado escrito más de mil años más tarde que el *Ts'an T'ung Ch'i:*

Otro dice: « Esta obra se asemeja en muchos aspectos a la creación del hombre, porque de la misma manera que un niño se alimenta al principio con alimentos ligeros, hasta la formación de sus hueses; así este magisterio requiere un fuego lento el cual actúa sobre él a la manera de una decocción». Y siempre, cuando hablamos de un fuego lento, queremos decir que dicho fuego se irá atizando y aumentando paulatinamente y por etapas sucesivas durante el curso del trabajo. . . .

Así pues, si queremos imitar a la naturaleza, es menester que tengamos un horno cualquiera, parecido a una montaña, no ya en tamaño, sinó de manera que nos proporcione un calor contínuo y para que el fuego impuesto sobre él no halle salida cuando asciende, y así el calor ha de reverberar dentro de la vasija cerrada que contiene dentro de sí el material de la piedra. . . .

Y así como en las minas el calor no tiene contacto directo con la substancia del Azufre y del Azogue, porque la tierra de la montaña se interpone por todas partes, tampoco debe tocar el fuego directamente a la vasija que contiene dichos materiales. Pero es necesario meter esta vasija dentro de otra cerrada de la misma manera, para permitir que penetre mejor y llegue hasta el material desde arriba y desde abajo, y de cualquier lado.

Toda persona que comiese la píldora de la inmortalidad se volvía *hsien*, inmortales sobrenaturales, jamás perderían su juventud, podrían recorrer grandes distancias, pasar a través del fuego sin quemarse, a través del agua sin mojarse, y serían capaces de cambiar de forma, apareciendo y desapareciendo a voluntad. Los poderes de un *hsien* eran los poderes de un *jinn*, según vienen descritos en *Las Mil y Una Noches*, cosa que hace suponer el orígen chino de la palabra arábiga, y es posible que indica la vía de la transmisión de la China a Europa, de la alquimia.

Los Latinos recibieron su alquimia de los escritores Árabes, quienes, aún si quizá recibieran parte de sus conocimientos químicos de los Alejandrinos, no recibieron ciertamente su alquimia de la misma fuente, puesto que los Alejandrinos carecían de conocimientos en la materia. Los Alejandrinos tenían una teoría química dualística; les interesaba el color, y aplicaban su química de varias maneras para imitar los metales nobles. Pero bien sabían que sus metales amarillos y blancos no eran en realidad ni oro ni plata. Los árabes poseían la química, y conocían el arte del colorido de metales, pero tenían también la verdadera alquimia, que recibieron probablemente de la China, y tenían la esperanza de poder preparar oro y plata auténticos por medios químicos.

Los notables pasajes que citamos más adelante, sacados de su capítulo sobre lo Amarillo y lo Blanco, demuestra el carácter verdaderamente alquímico de la enseñanza de Ko Hung, y su comprensión de la diferencia que existe entre el arte de imitar los metales, y la verdadera transmutación:

Pero lo que pasa con los *chên jên* [hombres de verdad, peritos en el arte, sabios] es otra cosa. Porque ellos no fabrican el oro para enriquecerse, sinó para comerlo y hacerse *hsien*. Por eso está escrito en el libro: « Puede hacerse oro con el cual

puede elevarse la gente por encima de esta vida mundana». Puede comerse la plata con el mismo fin, pero no es tan eficaz como el oro.

Luego volví a preguntar: « ¿Porqué no podemos comer el oro y la plata que ya existen, en vez de darnos el trabajo de hacerlos? Los que se hacen no serán oro y plata verdaderos, sinó imitaciones ».

Chêng Chün respondió: « El oro y la plata que se hallan en el mundo convienen para este propósito. Pero los *Tao-shih* [buscadores del Camino] son todos pobres, veed el refrán que reza: el *hsien* nunca es gordo, y el *Tao-shih* nunca es rico. Los *Tao-shih* generalmente van en grupos de cinco a diez, contando el maestro y sus discípulos, y siendo tan pobres, ¿cómo es posible que tengan el oro y la plata necesarios? Además, no pueden recorrer grandes distancias en busca del oro y de la plata que ocurren en la naturaleza. Y no tienen más remedio que hacerse los metales ellos mismos.

« Porque son las esencias de las medicinas, el oro y la plata fabricados son superiores a los naturales. . . .

« El oro que se obtiene por compuesto es uniforme por dentro y por fuera. Es posible trabajarlo de cien maneras sin que sufra cambio alguno. Por eso dicen las fórmulas para su manufactura que es posible hacer clavos con ellos. Lo que demuestra su fuerza. Tales propiedades resultan de la infusión respondiente del *Tao* de la naturaleza. ¿Porqué han de llamarse imitaciones tales hazañas?

« Las falsas imitaciones deberían ser por ejemplo: como el hierro embadurnado con *ts'êng ch-ing* [malaquita], de manera que el metal cobra un brillo rojizo que simula el cobre, y la acción del blanco de huevo sobre la plata, para obtener un color amarillo semejante al del oro. En todos estos casos, lo que resultan son cambios meramente externos, y no transmutaciones internas.

« El hongo *chih* [la planta de la longevidad] es un producto natural. Pero según el *Hsien Ching* [Libro de los Inmortales] puede ser cultivado por medio de las cinco piedras y las cinco plantas. La planta que resulta será exactamente como la que se encuentra en la naturaleza, en lo tocante al poder que posee de conferir longevidad al que la come. El caso es parecido al de la manufactura de oro »[1].

[1]Aunque las traducciones citadas en el presente tratado provienen en su mayoría del trabajo del finado Wu Lu-ch'iang, debo muchos de los datos y conclusiones a otros de mis colaboradores chinos, o a discusiones con ellos. Este tratado, que encierra material de otras precedencias, no hubiera podido ser escrito sin la anterior colaboración de Ou Chia-wei, Ma Chuk-ching, Su Gouq-jen, Chao Yün-ts'ung, y Ch'ên Kuo-fu. T.L.D.

Revistas de libros

QUIMICA ORGANICA

Theoretical Organic Chemistry, *por J. B. Cohen. Edición revisada por P. C. Austin. Pág. xv* + 622. *Macmillan & Company Limited, Londres.* 1942. 10*s.*

El carácter fundamental de los progresos en química orgánica, debidos al desarrollo de la teoría electrónica moderna, hace necesario una revisión muy completa de todo libro de texto escrito hace tiempo, si se quiere tener una obra verdaderamente moderna.

En esta edición corregida del libro bien conocido del difunto Profesor Cohen, se ha conservado, en gran parte, su plan y texto original. Se ha añadido un capítulo nuevo sobre estereoquímica, se han modernizado las secciones que tratan de los carbohidratos y de las proteínas; los compuestos heterocíclicos, los alcaloides, ureidos, y los compuestos de importancia biológica, forman una tercera y nueva sección. Es lástima que el cuidado de la revisión de los capítulos mencionados no se halle en el resto de la obra. El lector verá, por ejemplo, que aunque se ha incluído un capítulo corto que describe el carácter electrónico de los enlaces covalentes, electrovalentes y coordinados, las fórmulas que contienen nitrógeno quinquecovalente, por lo general no se han modificado. La potasa es el único absorbente que se recomienda para el análisis del anhidrido carbónico. Se reproducen, sin modificación alguna, el mecanismo original de Claisen para la condensación Claisen (pág. 328), y el de Fittig para la reacción Perkin (pág. 501), los cuales están hoy día enteramente desacreditados. Ha sido acertado el incorporar en el Cap. XIV, sobre aminas, las diaminas colina, neurina y taurina, pero en el índice (pág. xi) aparecen todavía bajo el Cap. XIX (Alcoholes Polihídricos). El decir que « no se ha encontrado todavía una explicación completamente satisfactoria » para la estructura del benceno (pág. 383) y para las reglas de la orientación de los derivados substituídos del benceno (pág. 483), no da al estudiante una idea correcta del éxito obtenido por la teoría de la resonancia en la interpretación de las propiedades químicas y espectroscópicas del benceno, o del de la teoría electrónica en la interpretación de la substitución aromática.

A pesar de tales defectos, la extensa y variada colección de datos que contiene, hace que sea un libro de texto muy útil para los estudiantes. J.W.B.

LA QUIMICA DE LAS VITAMINAS

Chemistry and Physiology of the Vitamins, *por H. R. Rosenberg. Pág. xx* + 675. *Interscience Publishers Inc., Nueva York; Imperial Book Company Limited, Londres.* 1942. $12,00.

El mérito de este libro estriba en que resume, de un modo claro y metódico, los descubrimientos efectuados durante los últimos veinte años en el campo de la química y bioquímica de las vitaminas. El aspecto fisiológico de la materia que pide un extenso conocimiento de la fisiología, patología

y medicina, no está tan bien tratado. Es una lástima, porque las investigaciones sobre las funciones fisiológicas de las vitaminas han ejercido una influencia sobre la fisiología mucho mayor de la que semejantes trabajos químicos han tenido sobre la química pura. Los descubrimientos químicos y bioquímicos están tratados minuciosamente, mientras los descubrimientos biológicos, hasta los más transcendentales, se mencionan a menudo casualmente, con poca o ninguna apreciación de su significado. De tanto en tanto, hechos y teorías importantes se confunden con otros sin importancia alguna. Esta falta de apreciación crítica disminuye el valor de la obra para los fisiólogos y puede engañar a los que no tienen un conocimiento profundo de esta materia.

El libro está muy bien presentado y contiene índices útiles, incluyendo una lista de patentes. Bajo el punto de vista cultural y de referencia del aspecto químico de las vitaminas, merece ser recomendado; quizás podríamos sugerir al autor el cambiar, en la edición próxima, el título de su obra por el de *Química y Bioquímica de las Vitaminas.*

TRABAJOS RECIENTES SOBRE LOS COLOIDES

Advances in Colloid Science, *redactado por E. O. Kraemer, F. E. Bartell, y S. S. Kistler. Pp.* xii + 434. *Interscience Publishers Inc., Nueva York; Imperia Book Company Limited, Londres.* 1942. *Precio:* 33*s.*

Este tomo contiene doce trabajos que tratan de muchos tópicos de actualidad, la mayoría de ellos escritos por distinguidos peritos. El Sr T. F. Anderson describe la teoría y muchas de las aplicaciones del microscopio electrónico de una manera muy clara, y muestra muchas excelentes fotografías. El Sr R. J. Myers da una relación excelente del intercambio de iones entre soluciones acuosas y resinas sintéticas de constitución cuidadosamente escogida, una reacción que forma la base de un nuevo procedimiento para la purificación del agua. El Sr Emmett analiza detalladamente cómo la cantidad de gas adsorbida depende de la presión, cuando se trata de cantidades más o menos grandes, adsorbidas en gran parte, si no enteramente, por las fuerzas de van der Waals, y señala convincentemente un método para averiguar cuando la capa adsorbida tiene un espesor de sólo una molécula. La superficie total del sólido puede deducirse de esta manera. El Sr McBain copila algunos datos, no bien conocidos, con relación a la manera en que las soluciones acuosas de substancias coloidales, tales como el jabón, pueden disolver cantidades grandes de substancias que tienen escasa solubilidad en agua pura, e indica su importancia para la acción detergente y para la permeabilidad de las membranas. Es magistral el artículo del Sr Edsall tocante a la refracción doble en soluciones de diminutas partículas alargadas, producida solamente cuando la solución está sujeto a fuerzas de cizallamiento. El tratamiento de los Sres Powell y Eyring es algo especulativo en lo referente a la viscosidad, difusión y otras propiedades de soluciones de moléculas grandes, pero preñado de ideas nuevas que son estimulantes. El Sr Hauser muestra un nuevo método para determinar la tensión superficial por medio de la forma de gotas pendientes; pero las ideas que expone tocante a las « irregularidades » de la tensión superficial son equivocadas, puesto que cae en el error de tratar de ajustar la forma simplificada de la ecuación de adsorción de Gibbs, aplicable sólo a sistemas de dos componentes, a datos que se refieren a soluciones que tienen que tener a lo menos tres componentes cuando se trata del equilibrio de la superficie.

Este tomo es indispensable para aquellos estudiantes que se dedican al estudio serio de los coloides, y debiera estar a la disposición de todos en las librerías técnicas en dónde prevalece la química física. N. K. ADAM

LA TEORIA DEL ANALISIS VOLUMETRICO

Volumetric Analysis, *por I. M. Kolthoff y V. A. Stenger.* Volumen I: Theoretical Principles. *Pág. xv* + 309. *Interscience Publishers Inc., Nueva York; Imperia Book Company Limited, Londres. Segunda edición revisada* 1942. 30*s.*

La primera edición de esta obra, publicada en alemán en 1927, y traducida al inglés por el Profesor N. H. Furman en 1928, suplió una falta importante en la literatura del análisis volumétrico, y estimuló mucho el interés en el estudio de la teoría de esta ciencia. Esto se ha reflejado en las páginas dedicadas a los principios teóricos en varios libros de texto, bien conocidos, sobre análisis inorgánico cuantitativo, incluso el de Kolthoff y Sandell (1936). Cerca de la mitad de la materia de dicho volumen ha sido adecuadamente estudiada en estos libros de texto, y es dudoso si el resto justifique la publicación de esta obra. En nuestra opinión, quizás hubiera sido mejor el combinar este primer volumen con la nueva edición del segundo (dedicado a problemas prácticos) que está en preparación.

El libro que consideramos nos parece algo mal dividido. Así, en el capítulo sobre indicadores, se consagran diez páginas a los indicadores ácido-básicos, pero sin discutir ni sus estructuras, ni la teoría de los cambios de sus colores; de otro lado, treinta y cinco páginas, incluyendo muchas fórmulas detalladas de sus estructuras, están reservadas a los indicadores de los sistemas oxi-reductores. En algunos capítulos, los puntos discutidos no están de acuerdo con los avances más recientes. Por ejemplo, en el interesante capítulo sobre análisis volumétrico orgánico, se explican las reacciones de los compuestos no saturados basándose en la teoría de la valencia parcial de Thiele.

Sin embargo, la obra contiene mucha información de gran valor para los que están interesados en los métodos volumétricos de análisis. Un gran número de referencias bibliográficas se incluyen.

A. I. VOGEL

UN DICCIONARIO DE TERMINOS CIENTIFICOS

A Dictionary of Science, *por E. B. Uvarov. Penguin Books Limited, Londres y Nueva York.* 1943. *Precio:* 9*d.*

Este diccionario, copilado por un catedrático científico competente, ha sido especialmente trazado para ayudar a todos aquellos que estudian y están interesados en las ciencias. La mayor parte de sus definiciones tratan de la química, la física y las matemáticas; muchas de las tablas de referencia mostrarán ser de un valor excepcional. Tendríamos a bien indicar que en la siguiente edición ciertos términos, como, por ejemplo, alambique, alcahesto, astrolabio y flogisto, sean reemplazados por términos más modernos, tales como el voltio de electrón, foto-electrón, el efecto Compton, efecto Raman etc. No obstante, esto es un punto de poca importancia, y los compradores de este pequeño libro compacto notarán que han obtenido algo extremedamente bueno que merece el dinero expendido. C. M. BEADNELL

UN LIBRO DE TEXTO PARA LOS INGENIEROS

Modern Engineering, *por C. H. S. Tupholme. Pp. xi + 201. Faber & Faber Limited, Londres.* 1942. *Precio:* 15*s.*

Ha conseguido bastante éxito el autor de este libro, atacando un tema amplio de una manera definitiva. La ingeniería moderna está tan estrechamente ligada con las otras ciencias, tales como la física y la química, y los adelantos recientes han sido tan rápidos, que un tratamiento cabal no era ni posible ni deseable en un libro como él que repasamos. Por consiguiente, el autor adoptó el método de presentar pormenores de varios adelantos que han mostrado tener éxito en el ramo comercial. No ha querido entrar en discusiones teóricas, mas ha tenido en cuenta las necesidades de los jovenes que empiezan la carrera de ingeniería, aunque el libro de ningún modo está limitado a tales requerimientos.

Es bien conocido que bajo las condiciones de guerra se acelera el paso de los adelantos técnicos y científicos, y que el esfuerzo inventivo se estimula por el deseo de la « suficiencia propia » y este punto de vista lo ha subrayado el Sr Tupholme; por ejemplo, si uno se refiere a la cuestión de potencia mecánica, se hallarán pormenores tocante a la caldera Velox, a la caldera Sulzer de un solo tubo, y al sistema a vapor de mercurio. En lo concerniente a los procedimientos técnicos hay descripciones excelentes y explicaciones de muchos y diversos métodos de precisión.

Hay que mencionar particularmente las ilustraciones que son muy excelentes, 23 de las cuales son fotograbados a media tinta, de página entera. El libro está bien escrito y bien hecho y por lo tanto tendrá buen recibimiento. ARTHUR MARSDEN

FIBRAS TEXTILES BAJO LOS RAYOS X

Textile Fibres under the X-rays, *por W. T. Astbury. Pág.* 53, *con* 34 *láminas. Imperial Chemical Industries Limited, Londres.* 1942.

Este libro es un álbum de fotografías de fibras textiles obtenidas por la difracción de rayos X, acompañadas de notas y de una introducción que describe los aparatos usados y las concluisones que se pueden deducir de estas fotografías. Se ha tenido gran cuidado de reproducir las excelentes fotografías del Dr Astbury en las mejores condiciones posibles; el resultado es muy agradable, y de gran valor informativo. El texto, que está escrito en un estilo delicioso (el autor es perito en el arte de la exposición sencilla), explica el análisis de los rayos X de modo apropiado al no-científico, y da un resumen general de su contribución al conocimiento de la estructura molecular de las fibras textiles. C. W. BUNN

TIPOS INDUSTRIALES DE OSCILOGRAFOS DE RAYOS CATODICOS

The Cathode Ray Oscillograph in Industry, *por W. Wilson. Pag. xii* + 150. *Chapman & Hall Limited, Londres.* 1943. 12*s.* 6*d.*

Este libro práctico y muy útil, está bien planeado para satisfacer la creciente demanda para información detallada sobre los diferentes modelos industriales en vidrio y metal de oscilógrafos de rayos catódicos. Como que la obra está escrita más para el uso de los lectores técnicos que para el de los académicos, se ha omitido casi completamente los antecedentes históricos y las ecuaciones matemáticas; se dedica el major espacio posible a las descripciones de los aparatos y sus partes, a las pruebas prácticas, y a las aplicaciones industriales. No se incluyen los tubos de televisión, pero se describen los aparatos de difracción de electrones y el microscopio electrónico. En un apéndice, se trata sumaricamente las lámparas termiónicas, las células fotoeléctricas, los osciladores, y los cristales piezoeléctricos. W.J.

LOS PRINCIPIOS DE LA ENTOMOLOGIA

Outlines of Entomology, *por A. D. Imms. Pág. viii* + 184 *con* 96 *láminas. Methuen & Company Limited, Londres.* 1942. 12*s.* 6*d.*

Este libro constituye una exposición excelente de los principios de la entomología. Está escrito con una selectividad debida a la unión de madura experiencia con gran saber, y da, de un modo fácil y atrayente, los datos necesarios para una apreciación elementaria de la anatomía, la fisiología y la clasificación de los insectos, y su posición en la evolución de las especies. El interés así avivado, será estimulado por los ensayos cortos y admirables, sobre temas generales, que surgen de modo muy natural de las porciones apropiadas del texto, transportando a la inteligencia despierta hacia los problemas más fascinadores de la conducta de los insectos. El índice es completo, y el papel y las láminas son ambos excelentes. H.N.

RADIORECEPTORES

Radio Receiver Design. *Primera Parte:* Radio Frequency, Amplification and Detection, *por K. R. Sturley. Pág. xii* + 435. *Chapman & Hall Limited, Londres.* 1943. 28*s.*

El libro del Dr Sturley representa una colección de los principios comprendidos en la recepción y amplificación de las ondas de radioemisoras. Su título es poco exacto, pues fuera de algunas tablas, el énfasis no está en los detalles prácticos de la construcción. Esto se nota al ver que los resultados matemáticos están descritos sin hacer resaltar su significación. La obra es, sin embargo, una introducción de gran valor para los que se interesan en radioemisoras y radioreceptores. S.J.

LA EVOLUCION Y LA MORALIDAD

Science and Ethics, *por C. H. Waddington y otros. Pág.* 144. *George Allen & Unwin Limited, Londres.* 1942. 7*s.* 6*d.*

Hace algún tiempo, el Dr Waddington escribió en *Nature* un artículo sobre « Las relaciones entre las ciencias y la ética », que provocó una polémica interesante. En el libro que consideramos, se ha reproducido este artículo, acompañado de comentarios de varias personas. Su tesis estriba en la teoría de que el desarrollo evolutivo nos provee de un criterio de la virtud y que éste constituye la única base de la moralidad que necesitamos.

Como hacen ver los comentaristas, existen divergencias entre la teoría y la realidad. Así, la esclavitud, que era desconocida entre los hombres primitivos, se hizo universal en las civilizaciones del mundo antiguo; por eso, según el Dr Waddington, la esclavitud ha de considerarse como beneficiosa, porque es una doctrina social que se desarrolló durante largos siglos. La ética cristiana, que condenó la esclavitud y por fin logró su abolición, estaba, en efecto, completamente opuesta a la dirección del proceso evolutivo anterior.

Una gran parte de la obra del Dr Waddington, y de sus críticos, alcanza un alto nivel de interés, pero podríamos recordar lo que dijo Burke, hace más de dos siglos, sobre otra tentativa parecida: « La moralidad paradójica me entretiene tan sólo por momentos ». E.T.W.